

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Гірничий факультет
Кафедра природоохоронної діяльності

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ Віктор КОСТЕНКО

“__” _____ 2023 р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА**

**на тему: «Вплив глобального потепління на ціанобактеріальне цвітіння
водойм»**

Виконав: студентка 4курсу, групи ЕКО-19

напряму підготовки: 101 Екологія

Анастасія ОРЕЛ

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник зав.каф. ПД, д.т.н., проф. Віктор КОСТЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент з.дек.ФМЕХТ, доц.каф. ХТХМ, к.т.н., доц.,

В'ячеслав КАУЛІН

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль:

Олексій КУТНЯШЕНКО

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає заборочень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____

(підпис)

Луцьк –2023

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Гірничий факультет
Кафедра Природоохоронної діяльності
Освітній ступінь - бакалавр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри, д.т.н., проф. _____ Віктор КОСТЕНКО
_____. _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

на випускн кваліфікаційну роботу бакалавра

Анастасії ОРЕЛ

1. Тема роботи: «Вплив глобального потепління на ціанобактеріальне цвітіння водойм»

керівник роботи Костенко Віктор Климентович д.т.н., проф.

затверджені наказом вищого навчального закладу від 08.05.23р. №181

2. Строк подання студентом роботи: 08.06.2023р

3. Вихідні дані до проекту: відомості про підприємство, матеріали переддипломної практики, та інш.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз проблеми глобального потепління; 2. Аналіз сучасного стану морських та прісноводних водойм; 3. Експериментальне підтвердження впливу температури на цвітіння води; 4. Існуючі методи та засоби оксигенації водойм та удосконалення способу заглибленої аерації; 5. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація на форматі А4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1	Віктор КОСТЕНКО		
Розділ 2	Віктор КОСТЕНКО		
Розділ 3	Віктор КОСТЕНКО		
Розділ 4	Віктор КОСТЕНКО		
Розділ 5			
Нормоконтроль	Олексій КУТНЯШЕНКО		

7. Дата видачі завдання 05.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Найменування видів робіт	Термін виконання	Форма звітності	Відмітка наукового керівника
Розділ 1	05.05.2023	Рукопис	
Розділ 2	10.05.2023	Рукопис	
Розділ 3	14.05.2023	Рукопис	
Розділ 4	20. 05.2023	Рукопис	
Розділ 5 Охорона праці	24.05.2023	Рукопис	
Оформлення пояснювальної записки	5.06.2023	Рукопис	
Підготовка презентації	13.06.2023	Рукопис	

Науковий керівник

Віктор КОСТЕНКО

Студент

Анастасія ОРЕЛ

АНОТАЦІЯ

Орел А.А. Вплив глобального потепління на ціанобактеріальне цвітіння водойм. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 101 Екологія. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Сторінок: 66, 17 ілюстрацій, 1 таблиця, 26 посилань.

Об'єкт дослідження – аквабіота водойм та рибне господарство.

Предмет дослідження – процеси, що відбуваються у водоймі під впливом підвищення температури.

Мета роботи – розробити спосіб для зниження шкідливого впливу ціанобактеріального цвітіння водойми і її терморегуляції під впливом глобального потепління шляхом удосконалення систем аерації.

Методи досліджень: комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення літературних джерел; лабораторні дослідження; розрахунково-аналітичний метод.

Відповідно до поставленого завдання в роботі проводяться дослідження: аналізу проблеми глобального потепління та його вплив на сучасний стан морських та прісноводних водойм, проведено експериментальне підтвердження впливу температури на цвітіння води, проаналізовані існуючі методи та засоби оксигенації водойм та запропоновано удосконалення засобу шляхом турбулентного перемішування водних мас за допомогою заглибленого аератора.

ВОДОРОСТІ, ЦІАНОБАКТЕРІЇ, РИБНЕ ГОСПОДАРСТВО,
ОКСИГЕНАЦІЯ, ЗАГЛИБЛЕНИЙ АЕРАТОР.

ABSTRACT

Orel A.A. Impact of global warming on cyanobacterial blooms in water bodies. Graduation thesis for the degree of "bachelor" in the specialty 101 Ecology. - State university DonNTU, Lutsk, 2023.

Pages: 67, 17 illustrations, 1 table, 26 references.

The object of research is aquabiota of reservoirs and fish farming.

The subject of research is the processes occurring in the reservoir under the influence of temperature rise.

The purpose of the work is to develop a method for reducing the harmful effects of cyanobacterial bloom of a reservoir and its thermoregulation under the influence of global warming by improving aeration systems.

Research methods: a comprehensive research method, which includes the analysis and generalization of literary sources; laboratory studies; calculation and analytical method.

In accordance with the assigned task, research is carried out in the work: analysis of the problem of global warming and its impact on the current state of marine and freshwater bodies of water, experimental confirmation of the effect of temperature on the bloom of water was carried out, existing methods and means of oxygenation of bodies of water were analyzed, and the improvement of the means by means of turbulent mixing of water masses was proposed using a deep aerator.

ALGAE, CYANOBACTERIA, FISH FARMING, OXYGENATION, SUBMERSED AERATOR.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ.....	9
1.1 Ознаки глобального потепління.....	9
1.2 Причини глобального потепління.....	11
1.3 Наслідки глобального потепління.....	14
1.4 Постановка мети та завдання.....	18
2 СУЧАСНИЙ СТАН МОРСЬКИХ ТА ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМ.....	19
2.1 Стан прісноводних водойм України.....	19
2.2 Наслідки підвищення середньорічної температури на водойми.....	23
2.3 Шкідливий вплив ціанобактеріального цвітіння.....	26
2.4 Залежність якості води від концентрації кисню у ній.....	40
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ	49
НА ЦВІТІННЯ ВОДИ.....	
4 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОКСИГЕНАЦІЇ ВОДОЙМ.....	53
4.1 Удосконалення засобу оксигенації водойми.....	57
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	61
Додаток А.....	64
Додаток Б.....	65

ВСТУП

Зміна клімату - це довгострокова зміна середніх погодних умов, які стали визначати місцевий, регіональний і глобальний клімат Землі. Ці зміни мають широкий спектр наслідків. Швидкість змін із середини 20 століття є безпрецедентною за тисячоліття.

Клімат Землі змінювався протягом історії. Тільки за останні 800 000 років було вісім циклів льодовикових періодів і тепліших періодів, причому кінець останнього льодовикового періоду близько 11 700 років тому позначив початок сучасної кліматичної ери - і людської цивілізації. Більшість цих кліматичних змін пояснюється дуже невеликими коливаннями орбіти Землі, які змінюють кількість сонячної енергії, яку отримує наша планета.

Промислова діяльність, від якої залежить наша сучасна цивілізація, підвищила рівень вуглекислого газу в атмосфері майже на 50% з 1750 року. Це зростання пов'язано з діяльністю людини, оскільки вчені можуть побачити характерний ізотопний відбиток в атмосфері.

Зміни клімату мають значний вплив на абіотичне та біотичне середовище. Підвищення температури повітря призводить до підвищення температури води, яка є середовищем існування широкого кола видів. Зміна клімату є одним із найсерйозніших викликів, з якими стикається людство. Температура поверхневих вод є ключовим параметром у дослідженні екологічних наслідків зміни клімату.

Температура визначає перебіг багатьох процесів і явищ. Зміна температури викликає зміни гідрологічного режиму, розчиненості кисню та якості води. Особливо гостро стоїть це питання для рибної промисловості. Отже забезпечення теплового та кисневого режиму водойми в умовах глобального потепління є актуальною науково-технічною задачею.

Мета роботи – розробити спосіб для зниження шкідливого впливу ціанобактеріального цвітіння водойми і її терморегуляції під впливом глобального потепління шляхом удосконалення систем аерації.

Об'єкт дослідження – аквабіота водойм та рибне господарство.

Предмет дослідження – процеси, що відбуваються у водоймі під впливом підвищення температури.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. зробити аналіз проблеми глобального потепління;
2. проаналізувати сучасний стан морських та прісноводних водойм;
3. провести лабораторні дослідження впливу температури на цвітіння води;
4. запропонувати удосконалення способу оксигенації водойм.

1 ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Глобальне потепління - це тривале нагрівання поверхні Землі, яке спостерігається з доіндустріального періоду (між 1850 і 1900 роками) внаслідок діяльності людини, насамперед через спалювання викопного палива, що збільшує рівень парникових газів, що вловлюють тепло, в атмосфері Землі. Цей термін не є взаємозамінним із терміном «зміна клімату».

За оцінками, починаючи з доіндустріального періоду, людська діяльність підвищила глобальну середню температуру Землі приблизно на 1 градус Цельсія (1,8 градуса Фаренгейта), число, яке наразі збільшується більш ніж на 0,2 градуса Цельсія (0,36 градуса Фаренгейта) за десятиліття. Поточна тенденція до потепління є однозначно результатом людської діяльності з 1950-х років і розвивається з безпрецедентною швидкістю.

1.1 Ознаки глобального потепління

Докази швидкої зміни клімату переконливі:

1. Глобальна температура зростає. Середня температура поверхні планети піднялася приблизно на 2 градуси Фаренгейта (1 градус Цельсія) з кінця 19-го століття, зміна, здебільшого викликана збільшенням викидів вуглекислого газу в атмосферу та іншою діяльністю людини. Більша частина потепління відбулася за останні 40 років, причому сім останніх років були найтеплішими. 2016 і 2020 роки є найтеплішими за всю історію спостережень (рис. 1.1).

2. Океан стає теплішим. Океан поглинув більшу частину цього підвищеного тепла, причому з 1969 року верхні 100 метрів (приблизно 328 футів) океану нагрілися більш ніж на 0,6 градуса за Фаренгейтом (0,33 градуса за Цельсієм).

3. Крижані покриви зменшуються. Маса крижаних покривів Гренландії та Антарктики зменшилася. Дані NASA Gravity Recovery and Climate Experiment показують, що Гренландія втрачала в середньому 279 мільярдів тон льоду на рік

між 1993 і 2019 роками, тоді як Антарктида втрачала близько 148 мільярдів тон льоду на рік.

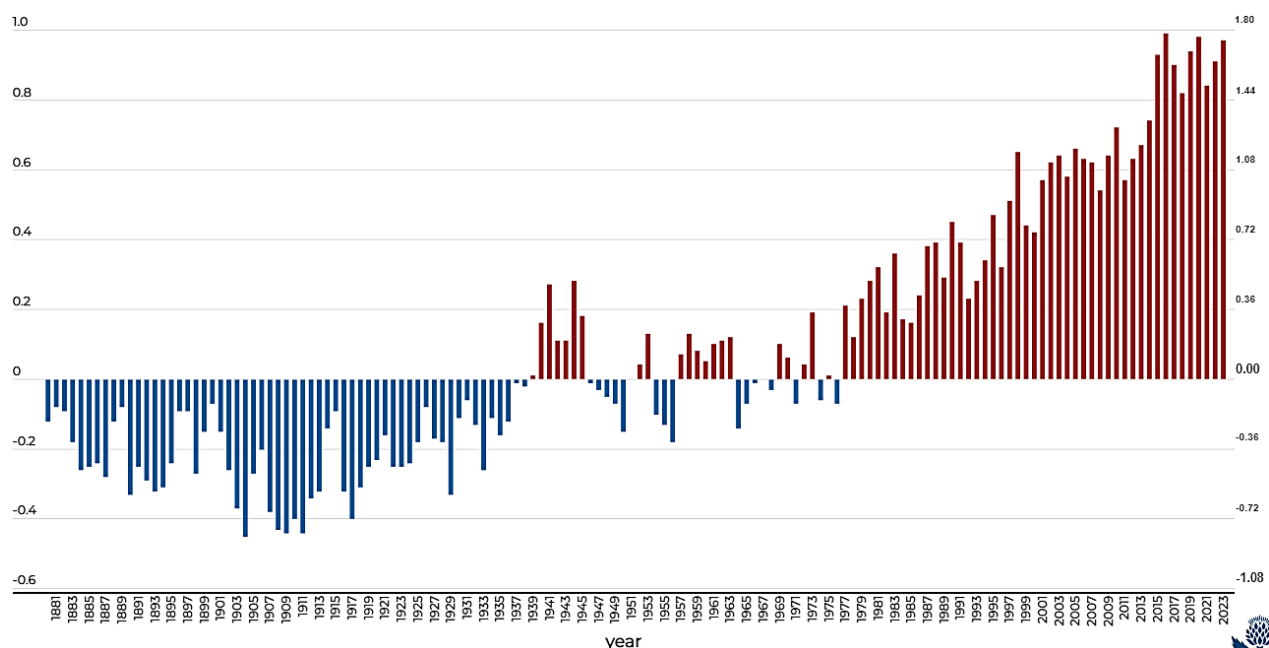


Рисунок 1.1 – Глобальні зміни температури з 1881 по 2023 рр. [1]

4. Льодовики відступають. Льодовики відступають майже скрізь по всьому світу, включаючи Альпи, Гімалаї, Анди, Скелясті гори, Аляску та Африку.

5. Сніговий покрив зменшується. Супутникові спостереження показують, що кількість весняного снігового покриву в Північній півкулі зменшилася за останні п'ять десятиліть і сніг тоне раніше.

6. Арктичний морський лід зменшується. За останні кілька десятиліть розмір і товщина арктичного морського льоду швидко зменшилися.

7. Екстремальні події стають все частіше. Кількість рекордно високих температур зростає, тоді як кількість рекордно низьких температур зменшується з 1950 року. Також спостерігається збільшення кількості інтенсивних опадів.

8. Закислення океану зростає. З початку промислової революції кислотність поверхневих вод океану зросла приблизно на 30%. Це збільшення пов'язане з тим, що люди викидають більше вуглекислого газу в атмосферу і, отже, його більше поглинається океаном. За останні десятиліття океан поглинув від 20% до 30%

загальних антропогенних викидів вуглекислого газу (від 7,2 до 10,8 мільярдів тон на рік) [2-6].

1.2 Причини глобального потепління

Вчені пояснюють тенденцію до глобального потепління, яка спостерігається з середини 20-го століття, поширенням людиною «парникового ефекту» - потепління, яке виникає, коли атмосфера затримує тепло, що випромінюється від Землі до космосу.

Протягом останнього століття спалювання викопного палива, наприклад вугілля та нафти, призвело до збільшення концентрації вуглекислого газу в атмосфері (CO_2). Це збільшення відбувається тому, що процес спалювання вугілля або нафти поєднує вуглець з киснем у повітрі з утворенням CO_2 . Меншою мірою очищення землі для сільського господарства, промисловості та іншої людської діяльності призвело до збільшення концентрації парникових газів [7].

Чотири основні гази, які сприяють парниковому ефекту:

1. Вуглекислий газ. Дуже важливий компонент атмосфери, вуглекислий газ (CO_2), вивільняється через природні процеси (наприклад, виверження вулканів) і через діяльність людини, наприклад спалювання викопного палива та вирубки лісів. Діяльність людини збільшила кількість CO_2 в атмосфері на 50% з початку промислової революції (1750 р.). Це різке зростання CO_2 є найважливішим фактором зміни клімату за останнє століття [8].

2. Метан. Як і багато інших атмосферних газів, метан походить як з природних, так і з антропогенних джерел. Метан утворюється внаслідок розпаду рослинної речовини на заболочених угіддях, а також вивільняється на звалищах і при вирощуванні рису. Тварини худоби виділяють метан із травлення та гною. Витоки від виробництва та транспортування викопного палива є ще одним основним джерелом метану, а природний газ містить від 70% до 90% метану. Як окрема молекула метан є набагато сильнішим парниковим газом, ніж вуглекислий

газ, але набагато рідше зустрічається в атмосфері. З доіндустріальних часів кількість метану в нашій атмосфері зросла більш ніж удвічі [9].

3. Оксид азоту. Потужний парниковий газ, що утворюється під час ведення сільського господарства, закис азоту вивільняється під час комерційного виробництва та використання органічних добрив. Оксид азоту також надходить від спалювання викопного палива, спалювання рослинності та зросла концентрація на 18% за останні 100 років.

4. Хлорфторвуглеці. Ці хімічні сполуки не існують у природі – вони повністю промислового походження. Їх використовували як холодоагенти, розчинники (речовини, що розчиняють інші речовини) і пропеленти для балончиків. Міжнародна угода, відома як Монреальський протокол, тепер регулює фреони, оскільки вони шкодять озоновому шару. Незважаючи на це, викиди деяких видів фреонів стрімко зростали протягом приблизно п'яти років через порушення міжнародної угоди. Після того, як учасники угоди закликали до негайних дій і кращого правозастосування, викиди різко впали, починаючи з 2018 року.

5. Водяна пара. Водяна пара є найпоширенішим парниковим газом, але оскільки потепління океану збільшує її кількість у нашій атмосфері, вона не є прямою причиною зміни клімату. Швидше, оскільки інші впливи (наприклад, вуглекислий газ) змінюють глобальну температуру, водяна пара в атмосфері реагує, посилюючи зміни клімату, які вже відбуваються. Кількість водяної пари збільшується в міру потепління клімату Землі. Хмари та опади (дощ або сніг) також реагують на зміни температури і також можуть бути важливими механізмами зворотного зв'язку [10-11].

У своєму шостому звіті про оцінку Міжурядова група експертів зі зміни клімату, до складу якої входять наукові експерти з усього світу, дійшла висновку, що однозначно збільшення CO_2 , метану та оксиду азоту в атмосфері в індустріальну еру є результат людської діяльності та що вплив людини є основним рушієм багатьох змін, які спостерігаються в атмосфері, океані, кріосфері та біосфері.

Докази показують, що поточне глобальне потепління не можна пояснити сонячним випромінюванням

Вчені використовують показник під назвою Загальне сонячне опромінення, щоб виміряти зміни в енергії, яку Земля отримує від Сонця. Показник включає 11-річний сонячний цикл і сонячні спалахи/бурі з поверхні Сонця (рис. 1.2).

Дослідження показують, що сонячна мінливість зіграла певну роль у минулих змінах клімату. Наприклад, зниження сонячної активності в поєднанні зі збільшенням вулканічної активності допомогло спровокувати Малий льодовиковий період.

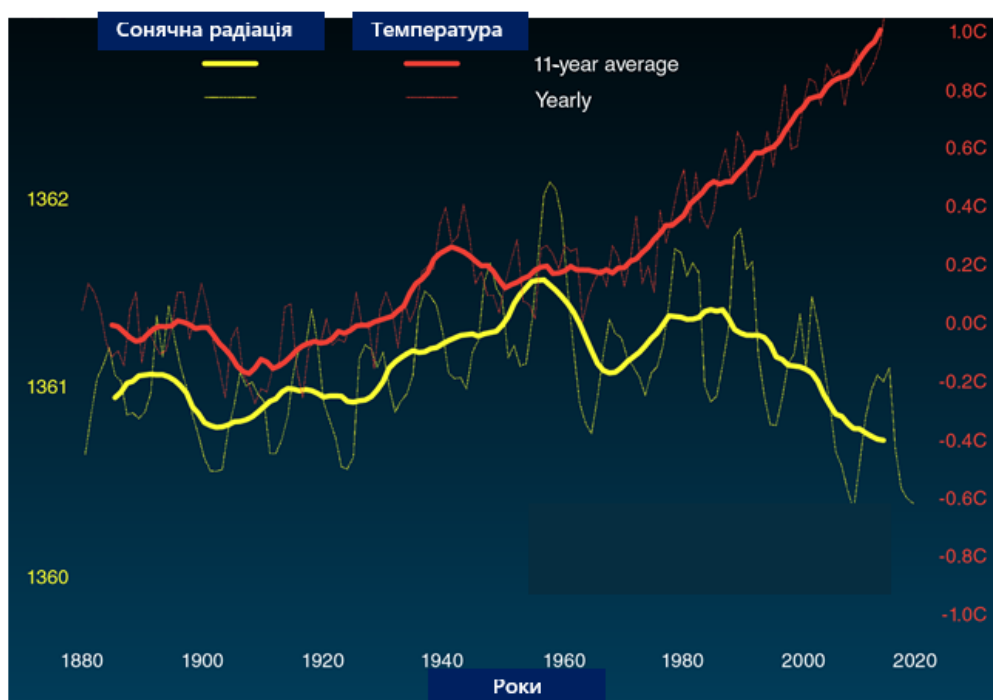


Рисунок 1.2 – Сонячна активність за 1880-2020 рр. [12]

Наведений вище графік порівнює глобальні зміни температури поверхні (червона лінія) та енергію Сонця, яку отримує Земля (жовта лінія) у ватах на квадратний метр з 1880 року. Світліші/тонші лінії показують річні рівні, а важчі/товщі лінії показують середні тенденції за 11 років. Середні значення за одинадцять років використовуються для зменшення річного природного коливання в даних, що робить базові тенденції більш очевидними.

Кількість сонячної енергії, яку отримує Земля, слідувала за природним 11-річним циклом невеликих підйомів і спадів Сонця без чистого збільшення з 1950-

х років. За цей же період глобальна температура помітно підвищилася. Тому вкрай малоймовірно, що Сонце спричинило спостережувану тенденцію глобального потепління температури за останні півстоліття [13].

Якби більш активне Сонце викликало потепління, очікувалось б підвищення температури у всіх шарах атмосфери. Натомість спостерігається охолодження у верхніх шарах атмосфери та потепління на поверхні та нижніх частинах атмосфери. Це тому, що парникові гази сповільнюють втрату тепла з нижніх шарів атмосфери.

1.3 Наслідки глобального потепління

Вплив на світовий океан. У Світовому океані цей ефект зворотного зв'язку може мати кілька шляхів. По-перше, коли поверхневі води нагріваються, вони будуть утримувати менше розчиненого CO_2 . По-друге, якщо більше CO_2 буде додано в атмосферу та поглинено океанами, іони бікарбонату (HCO_3^-) будуть збільшуватись, а отже збільшиться кислотність океану. Оскільки карбонат кальцію (CaCO_3) розщеплюється кислими розчинами, підвищення кислотності загрожуватиме океанській фауні, яка містить CaCO_3 у своїх скелетах або мушлях. Оскільки цим організмам стає все важче поглинати океанічний вуглець, буде відповідне зниження ефективності біологічного фільтра, який допомагає підтримувати океани як поглинач вуглецю. По-третє, підвищення температури поверхні може призвести до уповільнення так званої термохалінної циркуляції, глобальної моделі океанічного потоку, який частково спричиняє занурення поверхневих вод біля полюсів і відповідає за більшу частину поховання вуглецю в глибинах океану. Уповільнення цього потоку через надходження талої прісної води до умов, яка зазвичай є солоною, також може призвести до того, що біологічний фільтр, який переносить CO_2 з мілководдя на глибину, стане менш ефективним. Дійсно, прогнозується, що якщо глобальне потепління продовжуватиметься до певного моменту, океани перестануть бути чистим поглинаючим CO_2 .

Режими опадів. Очікується, що зміни в режимі опадів підвищать ймовірність як посухи, так і повеней у багатьох регіонах. Зменшення літніх опадів у Північній Америці, Європі та Африці в поєднанні з більшою швидкістю випаровування через підвищення температур на поверхні, за прогнозами, призведе до зменшення вологості ґрунту та посухи в багатьох регіонах. Крім того, оскільки антропогенна зміна клімату, ймовірно, призведе до більш енергійного гідрологічного циклу з більшою швидкістю як випаровування, так і опадів, існуватиме більша ймовірність інтенсивних опадів і повеней у багатьох регіонах [6-8].

Зміна циркуляції океану. Іншим можливим наслідком глобального потепління є зменшення глобальної системи циркуляції океану, відомої як «термохалінна циркуляція» або «великий океанський конвеєр». Ця система передбачає занурення холодних солоних вод у субполярних регіонах океанів, дія, яка допомагає переміщати тепліші поверхневі води до полюса від субтропіків. У результаті цього процесу вплив потепління поширюється на Ісландію та прибережні регіони Європи, що пом'якшує клімат у цих регіонах. Вважається, що глобальне потепління може зупинити цю систему океанських течій, створивши приплив прісної води від танення крижаних покривів і льодовиків у субполярну Північну Атлантику. Оскільки прісна вода має меншу щільність, ніж солоніша вода, значне вторгнення прісної води знизить щільність поверхневих вод і, таким чином, загальмує опускаючий рух, який керує великомасштабною термохалінною циркуляцією. Також було припущення, що внаслідок великомасштабного потепління поверхні, такі зміни можуть навіть спровокувати більш холодні умови в регіонах навколо Північної Атлантики. Експерименти з сучасними кліматичними моделями показують, що така подія малоімовірна. Замість цього може статися помірне ослаблення термохалінної циркуляції, що призведе до послаблення поверхневого потепління, а не фактичного охолодження, у вищих широтах Північної Атлантики.

Екологічні наслідки глобального потепління. Глобальне потепління та зміна клімату можуть змінити біологічні системи. Якщо говорити точніше, зміни

приземних температур повітря, ймовірно, вплинуть на функціонування екосистеми, а отже, на біорізноманіття рослин, тварин та інших форм життя. Сучасні географічні ареали видів рослин і тварин були встановлені шляхом адаптації до довготривалих сезонних кліматичних моделей. Оскільки глобальне потепління змінює ці закономірності у часових масштабах, значно коротших, ніж ті, що виникли в минулому внаслідок природної мінливості клімату, відносно раптові кліматичні зміни можуть поставити під сумнів природну адаптивну здатність багатьох видів.

Велика частина видів рослин і тварин, імовірно, опиниться під підвищеним ризиком зникнення, якщо глобальна середня температура поверхні підвищиться ще на 1,5...2,5 °C (2,7...4,5 °F) до 2100 року. Оцінки втрати видів піднімуться до 40 % для потепління понад 4,5 °C (8,1 °F) - рівень, який може бути досягнутий у сценаріях моделювання. 40-відсотковий рівень вимирання, ймовірно, призведе до серйозних змін у харчових мережах екосистем і матиме руйнівний вплив на функціонування екосистеми [14].

Потепління поверхні в регіонах з помірним кліматом, ймовірно, спричинить зміни в різних сезонних процесах, наприклад, раннє утворення листя на деревах, більш раннє озеленення рослинності, зміна часу відкладання яєць і вилуплення, а також зміни в моделях сезонної міграції птахів, риб і інші мігруючі тварини. У високоширотних екосистемах зміни в сезонних моделях морського льоду загрожують таким хижакам, як білі ведмеді та моржі; обидва види покладаються на розбитий морський лід для полювання. Крім того, у високих широтах поєднання потепління води, зменшення морського льоду та зміни солоності та циркуляції океану, ймовірно, призведе до скорочення або перерозподілу популяцій водоростей і планктону. У результаті риба та інші організми, які харчуються водоростями та планктоном, можуть опинитися під загрозою. На суші підвищення температури, зміни режиму випадання опадів і частоти посух, ймовірно, змінять схеми занепокоєння через пожежі та шкідників [15].

Інші ймовірні впливи на навколишнє середовище включають знищення багатьох прибережних водно-болотних угідь, солончаків і мангрових боліт в

результаті підвищення рівня моря та втрати певних рідкісних і вразливих середовищ існування, які часто є домом для спеціальних видів, які не можуть процвітати в інших місцях. середовищ. Наприклад, деякі амфібії, обмежені ізольованими тропічними хмарними лісами, або вже вимерли, або перебувають під серйозною загрозою зникнення.

Глобальне потепління може суттєво вплинути на водні ресурси. За нинішніх темпів потепління прогнозується 10...40% збільшення середнього поверхневого стоку та наявності води у високих широтах і в деяких вологих регіонах тропіків до середини 21-го століття, тоді як в інших очікується зменшення такого ж масштабу. частині тропіків і в сухих районах субтропіків. Це буде особливо серйозно в літній сезон. У багатьох випадках доступність води вже зменшується або, як очікується, зменшиться в регіонах, які відчувають нестачу водних ресурсів з початку 21 століття. Такі регіони, як африканський Сахель, західна частина Північної Америки, південна Африка, Близький Схід і західна Австралія, як і раніше залишаються особливо вразливими. Прогнозується, що в цих регіонах посуха збільшиться як за масштабами, так і за масштабами, що спричинить негативний вплив на сільське господарство та тваринництво. Більш ранній і посилений весняний стік вже спостерігається в західній частині Північної Америки, Східної Європи та інших регіонах помірного клімату, які обслуговуються льодовиковими або сніговими потоками та річками. Прогнозується, що запаси прісної води, які зараз зберігаються гірськими льодовиками та снігом як у тропіках, так і позатропіках, також зменшаться, що скоротить доступність прісної води для понад 15 % населення світу [16].

Також ймовірно, що підвищення температури через вплив на біологічну активність озер і річок, може негативно вплинути на якість води, ще більше обмежуючи доступ до безпечних джерел води для пиття або ведення сільського господарства. Наприклад, теплі води сприяють частішому цвітінню неприємних водоростей, що може становити загрозу для здоров'я людей. Деякі країни вже запровадили процедури управління ризиками у відповідь на очікувані зміни у доступності води.

1.4 Постановка мети та завдання

Глобальне потепління через антропогенну діяльність людини призводить до підвищення температури повітря, а отже і до підвищення температури води, яка є середовищем існування широкого кола видів. Зміна клімату є одним із найсерйозніших викликів, з якими стикається людство. Температура поверхневих вод є ключовим параметром у дослідженні екологічних наслідків зміни клімату.

Мета роботи – розробити спосіб для зниження шкідливого впливу ціанобактеріального цвітіння водойми і її терморегуляції під впливом глобального потепління шляхом удосконалення систем аерації.

Об'єкт дослідження – аквабіота водойм та рибне господарство.

Предмет дослідження – процеси, що відбуваються у водоймі під впливом підвищення температури.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. зробити аналіз проблеми глобального потепління;
2. проаналізувати сучасний стан морських та прісноводних водойм;
3. провести лабораторні дослідження впливу температури на цвітіння води;
4. запропонувати удосконалення способу оксигенації водойм.

2 СУЧАСНИЙ СТАН МОРСЬКИХ ТА ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМ

Вчені прогнозують, що зміна клімату матиме багато впливів на прісноводне та морське середовище. Ці наслідки, разом із забрудненням поживними речовинами, можуть призвести до того, що шкідливе цвітіння водоростей відбуватиметься частіше, у більшій кількості водойм і буде більш інтенсивним. Цвітіння водоростей загрожує здоров'ю людей, навколишньому середовищу та економіці країн. Наприклад у 2011 році озеро Ері в Північній Америці пережило одне з найсильніших за останні десятиліття цвітіння водоростей.

Сучасні дослідження припускають, що нове цвітіння може виникнути там, де його раніше не було. У деяких місцях сезон цвітіння зараз збільшився на місяць довше, ніж у 1982 році.

Також океан нагрівається нерівномірно, деякі регіони нагріваються швидше, ніж у середньому, а деякі охолоджуються. Це означає, що цвітіння з'явиться в нових регіонах і може фактично зменшитися в деяких місцях, де воно зараз відбувається.

2.1 Стан прісноводних водойм України

Річкові системи належать до найбільш відкритих динамічних екосистем і характеризуються досить активною взаємодією біоти русла і заплави; крім того, вони відіграють важливу роль як середовище проживання величезної кількості живих організмів. Великі річки служать резерватами біорізноманіття та ареалами процесів видоутворення. Вони надають різноманітні екосистемні послуги суспільству, такі як постачання людей і тварин прісною питною водою та служать водними шляхами та джерелами гідроенергії, рибальства та рекреаційної діяльності.

Незважаючи на високу важливість річок, більшість річкових басейнів зазнають загрозливого впливу забруднення, модифікації русел, переміщення води

між басейнами та змінених режимів течії, тиску рибальства, вирубки лісів, сільського господарства, урбанізації та зміни клімату.

В останні три роки в Україні сильно обміліли річки та водойми через аномальну осінь і зиму 2019-2021 років.

Вперше за 120 років гідрометеорологічні умови можуть призвести до обмеження водокористування в Україні. За даними Укргідрометцентру, низькі рівні води спостерігаються на більшості українських річок. Крім того, мілководдя може спричинити пересихання малих річок [17].

У березні та першій декаді квітня 2020 року гідрологічна ситуація в басейні головної річки України - Дніпра була вкрай складною. Рівні води майже в усіх річках-притоках, а також надходження води до штучних водосховищ на Дніпрі були одними з найнижчих за всю історію спостережень. На річці Десна — важливій притоці Дніпра — витрата води у квітні 2020 року становила лише 15 відсотків від норми. Враховуючи низькі рівні води та довгострокові прогнози погоди, які вказують на те, що протягом вегетаційного періоду подальших років кількість опадів буде нижчою за норму, а температура буде приблизно на 1-2 градуси Цельсія вище норми, може відбутись гідрологічна посуха і це буде в свою чергу вимагати більше споживання води.

За такими прогнозами може найбільше постраждати малі річки, є ризик повного висихання, а також порушиться баланс підземних вод.

За останні роки малі річки стали менш водними ніж раніше, а через незамерзання взимку не відбулося природне самоочищення води, тим самим вода залишається забрудненою. Виникають обмеження у використанні таких річок у сільському господарстві, що негативно позначиться на економіці. З кожним роком все більша частина сільськогосподарських угідь України потребує штучного зрошення, щоб бути придатними для ведення сільськогосподарської діяльності. Також обмеження у водокористуванні може зачепити виробників м'яса, які споживають величезну кількість води на своїх фермах.

Посуха також може вплинути на інші галузі промисловості, які споживають величезну кількість води. Якщо рівень води залишатиметься низьким, обмеження вплинуть на гідроелектростанції, промислові підприємства та водний транспорт.

У разі запровадження обмежень пріоритетним буде забезпечення постачання питної води та води для побутових потреб. Українське сільське господарство та промисловість будуть наступними у питанні доступу до води.

Вчені [18] стверджують, що посухи або сезони злив стане не тимчасовим явищем, а системним та притаманним даній місцевості та новому клімату. Це виявляє нові проблеми та труднощі у галузі сільського господарства та промисловості, що споживає велику кількість води.

Одним із наслідків посухи стала пилова буря у квітні 2020 року в центральній та північній частині України. Вона виникла через те, що частина поліського регіону - історично відома своїми великими болотами – висохла, через зміни клімату та антропогенну діяльність у тій місцевості (перетворення великої кількості території на орні поля, видобування торфу і заготовляти деревину). Після першої за багато років безсніжної зими та бездощової весни виявилось, що запасів води на Поліссі вже немає. Сильні вітри буквально видували ґрунт із висохлих ділянок і переносили його на багато кілометрів, покриваючи великі простори землі кількасантиметровим пилом.

Через експлуатаційну практику землеробства агрохолдинги та найбільші фермери позбавили Україну природної водоутримуючої здатності. Вони знищили луки та смуги дерев, що відокремлювали окремі поля. Навіть заповідники зараз використовуються для вирощування сільськогосподарських культур. Сьогодні частка розораності сільськогосподарських угідь досягає 70 відсотків. Для порівняння, середня частка в європейських країнах становить близько 35 відсотків.

На Поліссі землеробство було поширене на всій території. Сюди входять навіть заплави вздовж річок. Території, вкриті колись луками та молодими лісами, тепер стали сільськогосподарськими угіддями. Ліси вирубали, а луки знищили.

Така тенденція до пилових бурь спостерігається по всій Україні. Щойно посаджені дерева занадто слабкі, щоб втримати вітер, а старі не забезпечують регулювання вітрової ерозії. Щоб запобігти катастрофі Україні потрібне жорстке екологічне законодавство, а також хороша ефективна стратегія, яка враховує зміни клімату.

Та опустелювання внаслідок експлуатаційної сільськогосподарської діяльності не нове явище в Україні - більше ста років тому в гирлі Дніпра на узбережжі Чорного моря утворилася найбільша піщана пустеля Європи, відома як Олешківські піски. Бархани на березі Дніпра, нині займають площу в кілька сотень квадратних кілометрів, утворилися внаслідок масового випасу худоби, що призвело до знищення степової рослинності.

Щоб запобігти деградації річкових екосистем і підтримувати відповідний екологічний стан, необхідно визначити фактори та процеси, що впливають на річкові басейни в цілому та в регіональному масштабі.

Одним із басейнів річок, що представляє великий дослідницький інтерес, є Сівеський Донець, який протікає переважно в південно-східній частині України. Область відома важкою промисловістю, зокрема вугільною, хімічною та металургійною промисловістю. Інтенсивний видобуток завдав значних збитків навколишньому середовищу. Крім того, цей басейн з 2014 року перебуває в зоні збройного конфлікту між Україною та росією, що в свою чергу визначає завдання правильної оцінки екологічного стану та біоресурсів для подальшого визначення збитків. Зазначені фактори спровокували різку екологічну ситуацію та створили низку нових ризиків, переважно для водних екосистем регіону. Актуальність даного питання пояснюється роллю річки в регіоні, оскільки річка та її притоки забезпечують 80–85% води, що забирається головним водопостачальником (Вода Донбасу). Переважна більшість цієї води надходить із поверхневого стоку річок у цьому районі, забруднюючи русла річок, канали та водосховища. Військові конфлікти та забруднення промисловими та комунальними підприємствами ставлять під загрозу життя мирних жителів, які використовують цю воду.

Україна почала імплементувати Європейську водну рамкову директиву у 2014 році шляхом реструктуризації системи моніторингу. Річка Сіверський Донець з її притоками була обрана першим річковим басейном, де впроваджено державний моніторинг на основі оновлених підходів. Відповідно до сучасних підходів до управління водними ресурсами, їх характеристика повинна будуватися за басейновим принципом пріоритетна роль надається біотичній складовій, за якою поряд з гідроморфологічними та гідрохімічними показниками можна встановити екологічний стан водойми в межах певного басейну. Як один із біологічних елементів якості, фітопланктон пропонується як чутливий індикатор екологічних змін у водних екосистемах, включаючи зміни гідрологічних умов, біогенних навантажень та інших умов середовища [19].

2.2 Наслідки підвищення середньорічної температури на водойми

Вплив зміни клімату на вміст кисню в поверхневих водах світу є важливою темою для майбутньої якості води в умовах потепління. Підвищення температури річкової води є сигналами зміни клімату, і те, як зміна клімату впливає на рівні насичення розчиненим киснем. На сьогоднішній день дослідження щодо зміни теплового режиму річок у різних регіонах світу вказують на тенденцію до зростання. Підвищення середньої літньої температури води річок прогнозується на 5,3...7,8 °C, досягаючи містами близько 30 °C, що зменшує здатність до насичення кисню на 2...12%. Загалом, на кожний 1 °C збільшення температури, буде відбуватися приблизно 2,3% зниження концентрації рівня насичення кисню.

Параметри якості річкової води, такі як температура річкової води і розчинений кисень, є життєво важливими ознаками для визначення здоров'я екосистеми річкової водойми. Глобальне потепління клімату носить несприятливу дію на температуру річок в наслідок чого знижується концентрація розчиненого кисню у воді, тим самим відбуваються негативні процеси такі як замулювання води, посилення евтрофікаційних процесів, ціанобактеріальне цвітіння, відмирання водної рослинності, замор риби.

Розчинений кисень є визначним показником якості річкової води і вважається стандартним показником для визначення ступеня забруднювача. Вплив зміни клімату на розчинений кисень відносно температури води може призвести до погіршення якості води та екологічних спотворень. Температура води обернено пропорційний концентрації кисню, тобто кожна зміна температури води впливає на здатність річки самоочищатися шляхом зниження кількості кисню, який можна розчинити та використати для біодеградації. Таким чином, вплив зміни клімату на температуру води і насичення вмістом кисню має важливе значення для розуміння прогнозованої якості водойми.

Води з концентраціями кисню нижче насичення називаються «дефіцитними», тоді як води з концентраціями кисню, що перевищують насичення, називаються «перенасиченими». Як результат, концентрація насичення киснем служить базовою лінією для будь-яких спроб вимірювати якість води на основі вмісту кисню шляхом визначення концентрації кисню в незабрудненій воді. Концентрація насиченого кисню залежить від температури, солоності води та парціального тиску кисню [20].

Згідно з дослідженнями, відмінності у реакції теплового режиму річки на температуру повітря залежать від типу водойми та характеристик водозбірної басейну. Річки, що протікають через ліси, демонструють нижчі тенденції підвищення температури порівняно з водами, що протікають через сільськогосподарські території. У Польщі та Німеччині рівнинні річки є найбільш сприйнятливими до зміни клімату, сприяють зменшенню живлення річки та виникненню маловоддя, а отже, швидшому нагріванню води. Крім того, гідротехнічна інфраструктура сприяє зміні гідрологічного та теплового режиму. Як наслідок, погіршується фізико-хімічний стан води. Зміни теплового режиму також формуються функціонуванням електростанцій, шляхом скидання технологічних вод, що використовуються для охолодження.

Зміни в теплових умовах вод призводять до порушень у харчових мережах водної екосистеми. Нагрівання води сприяє розвитку паразитів, наприклад, міксозойних організмів, що викликають захворювання нирок у риб родини

лососевих. Це одна з причин зникнення популяції цих організмів у природному середовищі, особливо вражаючи території Європи та Північної Америки. Іншим порушенням, що виникає внаслідок температурного стресу у риб, є деформація скелета.

Термічні умови є одним із основних факторів, що формують середовища існування та їх поширення. Постійні зміни теплового режиму становлять загрозу для місцевих та ендемічних видів, виявляючи слабку здатність до адаптації до нових абіотичних умов. Це сприяє розвитку інвазивних видів, які зазвичай виявляють вищу температурну толерантність і менш сприйнятливі до змін умов середовища.

У Європі річкові води більше страждають від зміни клімату, ніж морські та океанські води. Тому річки більш вразливі до втрати біорізноманіття, ніж моря та океани. Крім того, прогнозується, що в найближчому майбутньому найбільші втрати зазнають звичайні види іхтіофауни та макрофауни безхребетних. Значна частина рідкісних видів може піддатися скороченню чисельності або повністю зникнути.

До основних наслідків підвищення середньорічної температури водою відносять:

1. Ціанобактерії. Токсичні синьо-зелені водорості бурхливо розмножуються у теплій, повільно текучій воді. Шкідливі водорості зазвичай цвітуть у теплий літній сезон або коли температура води вище, ніж зазвичай. Тепліша вода через зміну клімату може сприяти розвитку шкідливих водоростей кількома способами:

- високі температури запобігають змішуванню води, дозволяючи водоростям рости густіше та швидше;
- тепліша вода легша для дрібних організмів і дозволяє водоростям швидше спливати на поверхню;
- цвітіння водоростей поглинає сонячне світло, роблячи воду ще теплішою та сприяючи більшому цвітінню.

2. Зміни солоності. Зміна клімату може призвести до збільшення кількості посух, які роблять прісну воду більш солоною. Це може спричинити вторгнення

морських водоростей у прісноводні екосистеми. Наприклад на південному заході та півдні центральної частини Сполучених Штатів Америки токсичні морські водорості вбивають рибу в прісноводних озерах з 2000 року.

3. Збільшення рівню вуглекислого газу. Водоростям потрібен вуглекислий газ, щоб вижити. Більш високий рівень вуглекислого газу в повітрі та воді може призвести до швидкого росту водоростей, особливо токсичних синьо-зелених водоростей, які можуть спливати на поверхню води.

4. Зміни кількості опадів. Екстремальні шторми, що супроводжуються періодами посухи, можуть призвести до більшого цвітіння водоростей. Зміна клімату може вплинути на режим опадів, що призведе до чергування періодів посухи та сильних штормів. Це може призвести до більшого стоку поживних речовин у водойми, живлячи більше цвітіння водоростей.

5. Підвищення рівня моря. Вчені прогнозують, що до 2100 року рівень моря може піднятися на один метр. Це створить більш мілководну та стабільну прибережну воду, ідеальні умови для росту водоростей.

Отже виходячи з наведеного вище одним з найбільш негативних наслідків підвищення середньорічної температури води є зменшення розчиненого кисню, а отже бурхливе зростання шкідливих синьо-зелених водоростей (ціанобактерій), що в свою чергу призведе до «цвітіння» водойми та її «задухи» [21].

2.3 Шкідливий вплив ціанобактеріального цвітіння

Підвищення температури океану призводить до більш інтенсивних і тривалих спалахів токсичних речовин.

Припускається, що зміна клімату може призвести до більшої шкоди від цвітіння водоростей - неконтрольованого росту водоростей, які можуть задушити водні екосистеми та спустошити прибережну економіку.

Шкідливе цвітіння водоростей може виникнути, коли зміни умов води призводять до величезного зростання кількості певного виду водоростей. Цвітіння

може виробляти токсини, ставати настільки великим, що вбиває водне життя, і навіть змінювати колір води.

Одним із факторів, який сприяє поширенню цвітіння, є раптове збільшення таких поживних речовин, як азот і фосфор, часто з сільськогосподарських добрив.

Але не лише підвищення температури може викликати більш шкідливе цвітіння водоростей. Так через дуже високу температуру водойми шари води можуть розшаруватись і перешкоджати змішуванню та перенесенню поживних речовин [22].

Шкідливе цвітіння прісноводних водоростей часто викликане ціанобактеріями, які виробляють токсини, які можуть завдати шкоди людям та іншим тваринам. Ціанобактерії (їх зазвичай називають синьо-зеленими водоростями) процвітають у теплій воді та харчуються поживними речовинами (азотом і фосфором), які поступають з землі. Хоча ці бактерії в природі зустрічаються в воді, вони можуть стати небезпечними, коли їхні колонії швидко розквітнуть і, по суті, переповнять екосистему.

Цвітіння може мати неприємний запах і виглядати як забарвлена вода, накип, піна або килимки, схожі на водорості, на поверхні прісної води. Присутність ціанобактерій може тимчасово припинити відпочинок на озері чи річці, а ціанотоксини у водоймах можуть вплинути на постачання питної води для цілих громад.

Ризики цвітіння прісноводних ціанобактерій посилюються в усьому світі частково через зміну клімату, згідно зі звітом II Робочої групи МГЕЗК ООН 2022 року. Рецензоване дослідження показує, що зміна клімату прискорює ріст ціанобактерій.

Сильні опади та забруднення поживними речовинами живлять токсичні водорості. Разом із підвищенням температури більша кількість опадів сприяє створенню умов, що викликають «цвітіння» водойми. Сильні опади вимивають надлишок азоту та фосфору з навколишніх ландшафтів, живлячи наявні ціанобактерії та підвищуючи ризики цвітіння. Джерела поживних речовин

включають сільськогосподарські роботи, добрива для міських і житлових газонів, а також скидання зливових/стічних вод.

Вплив шкідливого цвітіння може становити короткострокові та довгострокові ризики для здоров'я. Прямий контакт із ціанобактеріями під час рекреаційних заходів, таких як плавання чи риболовля, або навіть вдихання під час цвітіння може призвести до впливу ціанотоксинів. Токсини також можуть поширюватися в джерелах питної води та потрапляти в організм через заражену рибу та молюсків.

Відомо, що деякі токсини, що виробляються ціанобактеріями, викликають гострі захворювання у людей, такі як алергічні реакції, шлунково-кишкові розлади, подразнення очей і грипоподібні симптоми. Довгостроковий вплив ціанотоксинів на здоров'я може включати пошкодження печінки.

Домашні тварини та дика природа також чутливі до ціанотоксинів. Собаки можуть піддаватися впливу так само, як і люди - пити або плавати під час цвітіння - або навіть доглядати за собою після виходу з води. Інші тварини в екосистемі, включаючи рибу і птахів, можуть серйозно захворіти або померти під час цвітіння токсичних водоростей [23].

Густе цвітіння водоростей у Дніпрі є очікуваним явищем, адже річка спроможна до самоочищення, однак в останні роки спостерігається дисбаланс азоту та фосфору, через використання мила для посуду з високою концентрацією цих сполук, а тому річка вже не може змоги повністю самоочиститися природними шляхом.

Азот та фосфор змиваються в річку Дніпро з сільськогосподарських угідь, де використовуються добрива та інші хімікати, а також з будинків, які будуються в санітарній зоні вздовж берегів річки, незважаючи на заборону. Через нетипово високу температуру річка Дніпро, як і більшість річок України, міліє, тому кількість азоту та фосфору, яка раніше вважалася нормальною, стає надвисокою.

В Україні найчастіше цвітіння викликають ціанобактерії (синьо-зелені водорості). Вони виділяють деякі токсичні речовини, що викликають, як зазначалось вище, отруєння у людей та тварин. Однак синьо-зелені водорості

можуть завдати шкоди навіть тим, хто не взаємодіє з річкою безпосередньо: токсини накопичуються в рибі і таким чином потрапляють в організм людини - кінцеву ланку цього харчового ланцюга.

Шкідливе цвітіння водоростей виникає, коли водорості, що виробляють токсини, надмірно ростуть у водоймі. Водорості - це мікроскопічні організми, які живуть у водному середовищі та використовують фотосинтез для виробництва енергії сонячного світла, як і рослини. Надмірний ріст водоростей або цвітіння водоростей стає видимим неозброєним оком і може бути зеленим, синьо-зеленим, червоним або коричневим, залежно від типу водоростей.

Водорості завжди присутні в природних водоймах, таких як океани, озера та річки, але лише деякі види можуть виробляти токсини. У цих водоростях вироблення токсинів може стимулюватися факторами навколишнього середовища, такими як світло, температура та рівень поживних речовин. Токсини водоростей, що потрапляють у навколишню воду чи повітря, можуть завдати серйозної шкоди людям, тваринам, риbam та іншим частинам екосистеми [18, 23].

Водорості - це група рослин, які зазвичай зустрічаються у воді. Як і всі рослини, водорості мають пігмент під назвою хлорофіл, за допомогою якого вони перетворюють сонячне світло на їжу. Водорості можна знайти в усіх типах води, включаючи солону воду, прісну воду та солонувату воду (суміш солоної та прісної води).

Водорості, які живуть у воді, можна розділити на дві категорії: морські водорості та фітопланктон. Морські водорості - це великі рослини, що складаються з багатьох клітин, а фітопланктон - маленькі одноклітинні рослини.

І морські водорості, і фітопланктон іноді швидко ростуть або цвітуть. Деякі види цвітіння можуть завдати шкоди людям, тваринам або навколишньому середовищу. Більшість шкідливих квітів, які спричиняють захворювання людей і тварин, викликані фітопланктоном.

Це шкідливе цвітіння може бути спричинене багатьма видами фітопланктону. Однак три основні типи фітопланктону спричиняють більшість цвітіння, яке викликає захворювання людей і тварин (рис. 2.1):

- Ціанобактерії (синьо-зелені водорості)
- Динофлагелляти (мікрowodорості або червоні водорості)
- Діатомові водорості (мікрowodорості або червоний приплив)

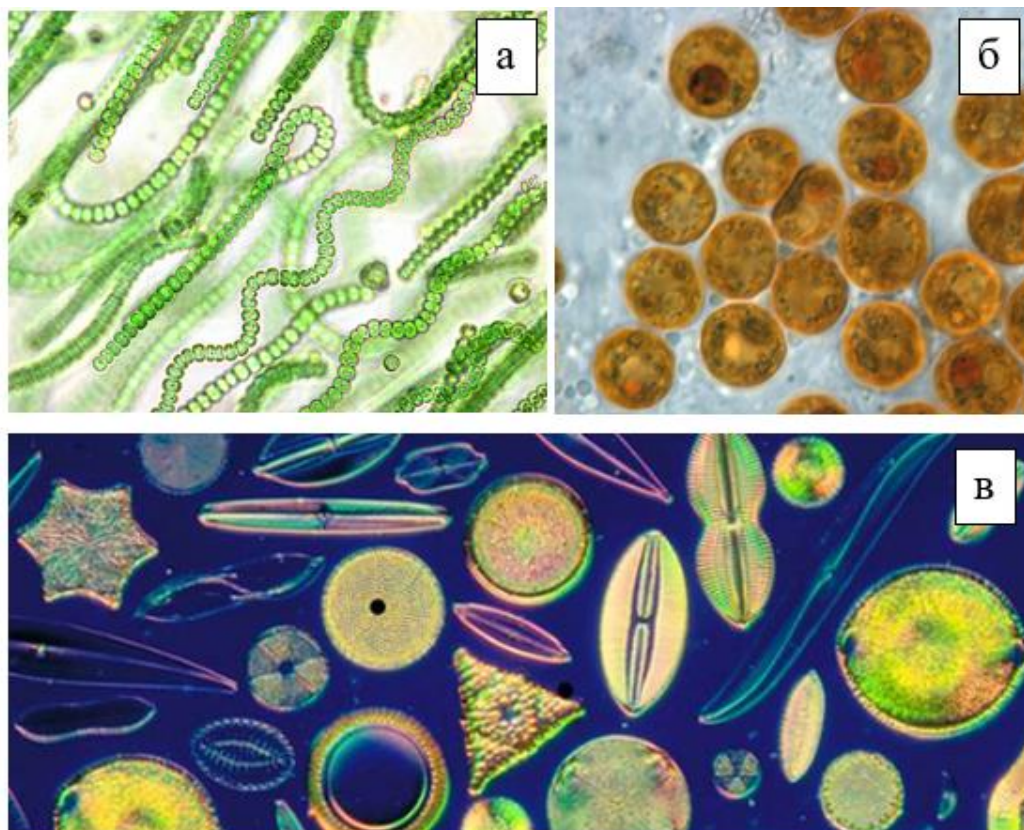


Рисунок 2.1 – Водорості, що викликають цвітіння: а – ціанобактерії;
б – динофлагелляти; в – діатомові водорості [18]

Цвітіння, відоме як «неприємне цвітіння», може знебарвити воду, мати неприємний запах і спричинити неприємний смак води чи риби. Неприємне цвітіння зазвичай не є небезпечним для людей, домашніх тварин і худоби, оскільки воно не виділяє токсинів. Однак вони можуть перешкодити людям відвідувати пляжі, пити воду з-під крана або їсти рибу з води з триваючим цвітінням.

Ціанобактерії (синьо-зелені водорості) викликають у більшості випадків цвітіння прісної води, що викликає занепокоєння у громадськості.

Ціанобактерії - це тип фітопланктону, що зустрічається у воді та вологому ґрунті. Хоча вони не є справжніми водоростями, ціанобактерії також відомі як

синьо-зелені водорості. Цвітіння ціанобактерій частіше спостерігається в прісній воді, але іноді його можна знайти в солоній або солонуватій воді.

Незважаючи на те, що ціанобактерії є типом бактерій, вони не завдають шкоди, заражаючи людей чи інших тварин. Натомість ціанобактерії можуть завдати шкоди, утворюючи токсини або розростаючись надто щільно.

Динофлагелляти та діатомові водорості спричиняють більшість занепокоєння для здоров'я населення через те, що можуть надавати воді різного кольору, включаючи червоний, коричневий або золотистий.

Цвітіння, спричинене динофлагеллятами та діатомовими водоростями, називається цвітінням водоростей. Динофлагелляти та діатомові водорості є двома різними типами фітопланктону, які найчастіше зустрічаються в солоній або солонуватій воді, в тому числі в лиманах.

Шкідливе цвітіння динофлагеллят або діатомових водоростей часто називають червоними припливами, оскільки вони можуть зробити воду червоною, це цвітіння більш поширено у солоній воді. Дані водорості можуть завдати шкоди людям і тваринам, утворюючи токсини або зростаючи надто щільно.

Цвітіння водоростей і ціанобактерій може рости у прісній воді, солоній воді та солонуватій воді (суміш прісної та солоної води) по всьому світу, зокрема у воді, яку люди використовують для пиття чи відпочинку. Шкідливе цвітіння зазвичай утворюється в теплій воді з високим рівнем поживних речовин, таких як азот і фосфор.

Ознаки цвітіння:

- Зміна кольору. Від світло-зеленого до темно-зеленого, червоного, золотого, помаранчевого і навіть синього.
- Зміна запаху. Коли водорості або ціанобактерії вмирають і починають розкладатися, вони можуть виділяти гази, що пахнуть тухлими яйцями або гнильними рослинами.
- Неочевидна ознака – вміст токсинів у воді.

Токсини які виробляють ціанобактерії: мікроцистин, циліндропермопсин, анатоксин, гуанітоксин, раніше відомий як анатоксин-a(s), сакситоксин, нодулярін, лінгбіатоксин.

Токсини які виробляють динофлагелляти: бреветоксин, азаспірацид, цигуатоксини, окадова кислота, сакситоксин, динофізітоксин.

Токсини які виробляють діатомові водорості: домоїнова кислота.

Якщо цвітіння стає настільки густим, що сонячне світло не може пройти крізь нього, це може перешкодити іншим рослинам і тваринам у воді отримати сонячне світло, необхідне для виживання. Густе цвітіння також може закупорювати зябра риб, молюсків та інших тварин, заважаючи їм дихати.

Коли квітка відмирає, процес гниття може використати весь кисень у воді, спричиняючи задихнення інших організмів у воді (нездатність дихати). Коли квітка розкладається, вона також може виділяти гази, які можуть завдати шкоди людям, наприклад метан і сірководень (який пахне тухлими яйцями).

Довгострокові наслідки впливу ціанобактерій або їх токсинів на здоров'я людей і тварин залишаються нез'ясованими. Оскільки ми все ще вивчаємо довгострокові наслідки для здоров'я, важливо вжити заходів, щоб убезпечити себе та своїх домашніх тварин, наприклад, не заходити у воду, яка містить велику кількість ціанобактерій або високий рівень ціанотоксинів.

Причини цвітіння прісноводних водоростей:

1. Забруднення поживними речовинами.

Такі поживні речовини, як азот і фосфор, необхідні для росту рослин, є природною частиною підводних екосистем. Але коли вони стікають з міських і сільських поверхонь і впадають у річку, озеро, ставок або резервуар у надлишку - явище, відоме як забруднення поживними речовинами - вони діють як добриво та сприяють росту водоростей і бактерій. Більшість надлишкових поживних речовин потрапляє у водні шляхи через сільськогосподарські стоки (зокрема, через тваринний гній і хімічні добрива, які змиваються з ферм дощем), витоку відходів із годівниць для тварин, дощових стоків із міських і приміських районів та скидів із очисних споруд .. Згідно з останніми дослідженнями.

2. Тепла вода.

Тепла вода дає ціанобактеріям конкурентну перевагу. Ці бактерії ростуть швидше, ніж більш доброякісні водорості при вищих температурах, і коли утворюється цвітіння, може бути запущена петля зворотного зв'язку: коли цвітіння стає густішим, темні поверхні килимків водоростей поглинають більше сонячного світла, що призводить до ще більш теплої води та більшого росту водоростей.

3. Стояча вода.

Повільно текуча або стояча вода також може термічно розшаруватися, тобто шар теплої води, який сприяє цвітінню водоростей, плаває поверх більш прохолодної води. Фактори, які сприяють зменшенню потоку води або ставків, включають посуху, використання води для поливу чи пиття та зміну природних водних шляхів через дамби, канали та іншу створену людиною інфраструктуру.

4. Зміна клімату.

Зміна клімату збільшує частоту та тривалість посух у багатьох частинах країни та посилює сильні шторми. Періоди посухи, що чергуються з сильними опадами, збільшують стік із сільськогосподарських угідь, газонів та інших джерел, що призводить до підвищення рівня азоту в річках і, отже, до шкідливого цвітіння водоростей.

Спалювання викопного палива, вирубка лісів і освоєння земель збільшують кількість вуглекислого газу в атмосфері. Це підживлює шкідливе цвітіння водоростей, оскільки ціанобактерії можуть харчуватися вуглекислим газом, який не тільки присутній на поверхні водойми, але й розчинений у воді. А коли водорості гинуть і опускаються на дно прісноводної водойми, вони розкладаються та вивільняють вуглець, який раніше був секвестрований, забезпечуючи більше палива для росту ціанобактерій.

Зміна клімату та сильніші посухи також змінюють режим стоку в прісноводних водоймах і можуть посилити конкуренцію за дедалі менші запаси прісної води. Зменшення потоків у водних шляхах означає, що вода, що залишилася, буде теплішою та більш стоячою, створюючи умови для цвітіння

водоростей. Якщо ми продовжуватимемо дивитися на природні водні шляхи як на наше основне джерело води і не застосовуватимемо заходів щодо ефективності, збереження та повторного використання для зменшення надмірного відведення води, прісноводні водойми стануть більш вразливими, ніж вони є, до ВЦВ та наслідків зміни клімату .

Запобігання шкідливому цвітінню водоростей у прісній воді:

Протягом останніх кількох десятиліть частота та розповсюдження шкідливого цвітіння водоростей зросли, а кліматична криза, яку ми створили, погіршує умови, які сприяють шкідливому цвітінню водоростей. Стимування зміни клімату та прийняття кращих нормативних актів для зменшення забруднення поживними речовинами допоможе зменшити цвітіння та пом'якшити їхній вплив на здоров'я людини, екосистеми та місцеву економіку.

1. Кращі методи ведення сільського господарства.

На фермах регенераційні методи, які покращують здоров'я ґрунту, допомагають уловлювати дощ там, де він випадає, замість того, щоб стоки, насичені поживними речовинами, змивалися у водойми. Ці методи включають посадку покривних культур , диверсифікацію вирощеного, зменшення обробітку ґрунту , належне внесення компосту та гною та дотримання найкращих практик щодо добрив.

2. Зелена інфраструктура.

Як згадувалося вище, забруднені стоки виробляють не лише ферми. Щороку велика кількість неочищеної дощової води змивається з асфальтованих поверхонь, через системи зливової каналізації та у водні шляхи. Цей стік може містити високий рівень поживних речовин, які можуть викликати шкідливе цвітіння водоростей. Рішення, над яким працює Додавання зелених дахів, висаджування дерев і будівництво садів із рослин, що поглинають дощ, - усе це збирає дощову воду до того, як вона потече у водні шляхи.

3. Розумна водна політика та збереження.

Захист водно-болотних угідь, які діють як природні фільтри для покращення якості води, захоплення стоку та збільшення біорізноманіття, також є життєво важливим.

У багатьох частинах країни відведення води з річок для споживання містами, сільським господарством та іншими потребами суттєво змінило водні шляхи та навколишнє середовище існування та поставило під загрозу здоров'я наших річок, озер і життєво важливих екосистем. Перенаправлення природного стоку річки призводить до пересихання на величезних ділянках. Надмірне ввиснаження призводить до обміління водойми і як наслідок - створення теплих, застійних умов, в яких процвітають водорості. Шкідливе цвітіння водоростей поширилося в останні роки, оскільки річковий потік зменшився.

4. Моніторинг, пом'якшення та співпраця.

Поліпшення моніторингу та посилення досліджень цвітіння водоростей також дуже необхідні. Немає загальнонаціональної системи для збору даних про шкідливе цвітіння та реагування. Удосконалені методи комунікації з громадськістю, між організаціями та між державами можуть прискорити реагування на надзвичайні ситуації на цвітіння водоростей, зменшивши шкоду навколишньому середовищу, дикій природі та людям. Так, наприклад, в США, для дослідження водоростевих токсинів, EPA, NASA, NOAA та USGS створили Мережу оцінки ціанобактерій (CyAN) для збору, аналізу та розповсюдження супутникових даних у режимі реального часу, щоб допомогти державним установам швидше виявляти спалахи ціанобактерій в озерах і водосховищах США. Мережа також зробила супутникові зображення водоростей більш доступними для громадськості.

Евтрофікація - це процес, під час якого водойма стає надмірно збагаченою поживними речовинами, що призводить до рясного росту простих рослин. Показниками цього процесу є надмірний ріст (або цвітіння) водоростей і планктону у водоймі. Евтрофікація вважається серйозною екологічною проблемою, оскільки вона часто призводить до погіршення якості води та

виснаження розчиненого кисню у водоймах. Евтрофні води можуть з часом стати «мертвими зонами», які не здатні підтримувати життя.

Евтрофікацію можна визначити як неорганічне збагачення природних вод поживними речовинами, що призводить до збільшення виробництва водоростей і макрофітів.

Багато озер природно евтрофні, а в деяких випадках спостерігається прогресуюча евтрофікація в міру дозрівання озера. Термін евтрофікація більш відомий у зв'язку з людською діяльністю, де штучне внесення поживних речовин для рослин призвело до змін у громаді та погіршення якості води в багатьох прісноводних системах. Цей аспект стає все більш важливим зі збільшенням чисельності населення та більш екстенсивним розвитком сільського господарства, а евтрофікація зараз ставиться в ряд з іншими великими антропогенними наслідками, такими як вирубка лісів, глобальне потепління, виснаження озонового шару та масштабне порушення навколишнього середовища у зв'язку з його потенційно шкідливим впливом на природні екосистеми.

Водні екосистеми є домом для кількох рослинних і тваринних форм життя - як простих, так і складних. Процес евтрофікації руйнує баланс у цих екосистемах, сприяючи росту простих рослин. Це значно зменшує біорізноманіття екосистеми через знищення кількох бажаних видів.

Наявність таких поживних речовин, як азот і фосфор, обмежує ріст рослин в екосистемі. Коли водойми надмірно збагачені цими поживними речовинами, ріст водоростей, планктону та інших простих видів рослинного світу є більш сприятливим, ніж ріст більш складних рослин.

Фосфор вважається одним із основних обмежуючих факторів для росту рослин у прісноводних екосистемах. Кілька джерел також стверджують, що доступність азоту є важливим обмежуючим фактором для росту водоростей.

Фосфати, як правило, прилипають до ґрунту і переносяться разом з ним. Тому ерозія ґрунту є основним фактором збагачення водойм фосфором. Деякі інші багаті на фосфор джерела, які збагачують водойми поживними речовинами, включають:

- добрива,
- неочищені стічні води,
- миючі засоби, що містять фосфор,
- промисловий скид відходів.

Поживні речовини - це хімічні елементи, які містяться в їжі, необхідні рослинам і тваринам для росту та виживання. Хоча існує багато видів поживних речовин, двома найважливішими та найпоширенішими є азот і фосфор. Азот і фосфор зустрічаються в різних формах або видах, і наявні види можуть змінюватися, коли вони переміщуються між повітрям, водою та ґрунтом.

Аміак (NH_3 , NH_4) є одними з основних форм азоту в природних водах. Аміак може бути токсичним для риб. Він також розчинний у воді і відносно нестабільний у більшості середовищ. Аміак легко перетворюється на нітрат (NO_3) у водах, які містять достатню кількість розчиненого кисню, або на газоподібний азот у водах, які не містять розчиненого кисню.

Нітрат (NO_3) є ще однією основною формою азоту в озерах і струмках. Нітрат дуже добре розчинний у воді і стабільний у широкому діапазоні умов навколишнього середовища. Він легко переноситься ґрунтовими водами та струмками. Надмірна кількість нітратів у питній воді може спричинити проблеми зі здоров'ям.

Фосфати (PO_4) є найпоширенішою формою фосфору в природних водах. Фосфати лише помірно розчинні і, порівняно з нітратами, не дуже рухливі в ґрунтах і підземних водах. Фосфати, як правило, залишаються прикріпленими до частинок ґрунту, але ерозія може транспортувати значні кількості фосфатів до струмків і озер.

Серед цих джерел основними причинами евтрофікації є сільськогосподарські та промислові відходи.

Надмірний ріст водоростей в евтрофних водах супроводжується утворенням великої біомаси мертвих водоростей. Ці мертві водорості опускаються на дно водойми, де їх розщеплюють бактерії, які споживають кисень у процесі (рис. 2.2).

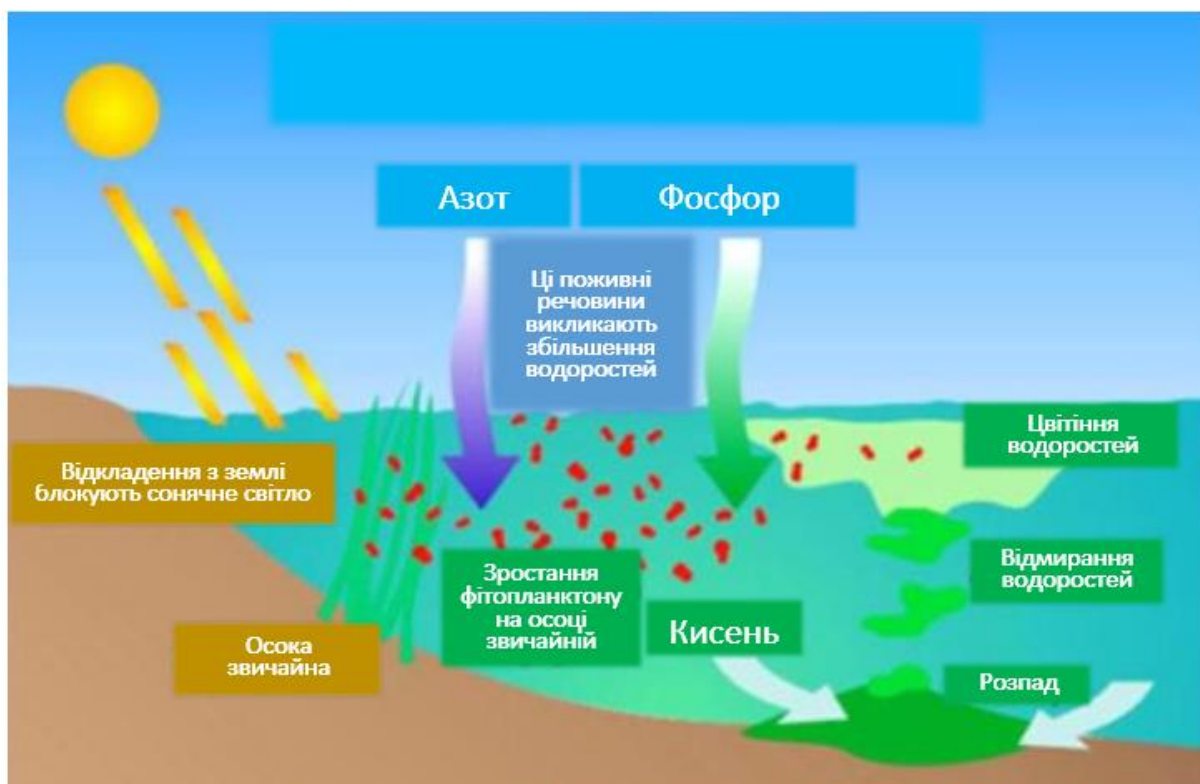


Рисунок 2.2 - Процес евтрофікації [23]

Надмірне споживання кисню призводить до гіпоксичних умов (умов, при яких доступність кисню низька) у воді. Умови гіпоксії на нижніх рівнях водойми призводять до задухи та кінцевої смерті більших форм життя, таких як риба.

Процес евтрофікації можна розділити на два типи залежно від першопричини.

1. Антропогенне евтрофікування. Антропогенна евтрофікація спричинена діяльністю людини - сільськогосподарські ферми, поля, газони тощо забезпечуються поживними речовинами у вигляді добрив. Ці добрива змиваються дощем і зрештою потрапляють у водойми, такі як озера та річки.

Потрапляючи у водну екосистему, добрива забезпечують водорості та планктон великою кількістю поживних речовин, що призводить до евтрофікації водойми.

Перенаселення вимагає величезного розширення промисловості та сільського господарства, що, у свою чергу, призводить до вирубки лісів. Коли це відбувається, ґрунт легше розмивається, що призводить до збільшення відкладень

грунту у водоймах. Якщо ґрунт багатий фосфором, це може призвести до евтрофікації та серйозно пошкодити екосистему у водоймі та навколо неї.

Коли каналізаційні труби та промислові відходи спрямовуються у водойми, поживні речовини, присутні в стічних водах та інших відходах, збільшують у десятки разів природну швидкість евтрофікації.

2. Природна евтрофікація. Природна евтрофікація означає надмірне збагачення водойм через природні події. Наприклад, поживні речовини з землі можуть бути змиті під час повені та відкладені в озеро чи річку. Ці водойми стають надмірно збагаченими поживними речовинами, сприяючи надмірному росту водоростей та інших простих рослин.

Процес природної евтрофікації відбувається значно повільніше порівняно з процесом антропогенної евтрофікації. Цей процес також певною мірою залежить від температури навколишнього середовища. Це може навіть доповнюватися змінами температури, спричиненими глобальним потеплінням.

Наслідки евтрофікації:

В першу чергу несприятливі наслідки евтрофікації для водних організмів включають зменшення біорізноманіття, збільшення токсичності водного тіла та зміну домінування видів. Нижче наведено деякі інші важливі ефекти цього процесу.

- Вода втрачає свою прозорість, набуває неприємний запах і колір. Очищення цієї води ускладнюється.

- Вичерпання розчиненого кисню у водоймі.

- Стаються часті випадки загибелі риби, і багато бажаних видів риби видаляються з водойми.

- Популяції молюсків і риби, придатної для вилову, зменшуються.

- Естетична цінність водойми значно знижується.

Природні стоячі води коливаються від ультраоліготрофних до евтрофних із поступовим збільшенням продуктивності та пов'язаних параметрів. Окрім таких загальних змін, евтрофікація також впливає на вертикальну структуру озер із подальшими наслідками для біології прісноводних організмів. Перехід від

евтрофного до гіпертрофного статусу, як правило, є результатом людської діяльності та, зрештою, впливає на весь екологічний баланс прісноводної системи.

Коли водна екосистема збагачується поживними речовинами природним або штучним шляхом, умови стають надзвичайно сприятливими для первинних виробників. Як правило, водорості та інші подібні види використовують ці поживні речовини, і спостерігається величезне збільшення їх популяції (цвітіння водоростей).

Цвітіння водоростей перешкоджає надходженню сонячного світла до дна водного тіла, а також викликає значні коливання рівня розчиненого кисню у воді.

Коли розчинений у воді кисень зменшується до рівня, нижчого за гіпоксичний рівень, багато морських тварин задихаються і гинуть. Це зменшує ефективне біорізноманіття водойми.

Деякі водорості токсичні для багатьох рослин і тварин. Коли ці водорості цвітуть у евтрофних водах, вони виділяють нейротоксини та гепатотоксини. Ці токсини також можуть просуватися вгору харчовим ланцюгом через молюсків або інших морських тварин і призводити до загибелі багатьох тварин.

Якщо водойма з дефіцитом азоту раптово збагачується ним, багато інших конкуруючих видів можуть переселитися у водойму та витіснити вихідних мешканців екосистеми. Одним із таких прикладів нового виду, що вторгся в евтрофічні умови, є звичайний короп, який адаптувався до цих умов [3, 20-23].

Отже, надмірна кількість азоту та фосфору у воді може призвести до розростання вільно плаваючих рослин, таких як ряска та нитчасті водорості, що призведе до утворення щільних шарів цвітіння на поверхні води. Це може завдати шкоди водним рослинам, риbam та іншим озерним організмам, позбавляючи їх кисню та сонячного світла, необхідних для виживання.

2.4 Залежність якості води від концентрації кисню у ній

Як вже було зазначено у п.2.2 розчинений кисень є важливим критерієм якості водного середовища. Хоча молекули води містять атом кисню, цей кисень

не є тим, що потрібно водним організмам, що живуть у природних водах. Невелика кількість кисню, приблизно до десяти молекул кисню на мільйон води, фактично розчинена у воді. Кисень потрапляє в потік головним чином з атмосфери (рис.2.3) , а в районах, де скидання ґрунтових вод у потоки становить значну частину потоку, з скидання ґрунтових вод. Цим розчиненим киснем дихають риби та зоопланктон, і він необхідний їм для виживання. Розчинений кисень потрапляє у воду через повітря або як побічний продукт рослин. З повітря кисень може повільно дифундувати поверхнею води з навколишньої атмосфери або швидко змішуватися через аерацію, природну чи штучну. Аерація води може бути викликана вітром (створенням хвиль), порогами, водоспадами, скиданням ґрунтових вод або іншими формами течії води.

Розчинений кисень також утворюється як відпрацьований продукт фотосинтезу з фітопланктону, водоростей, морських водоростей та інших водних рослин.

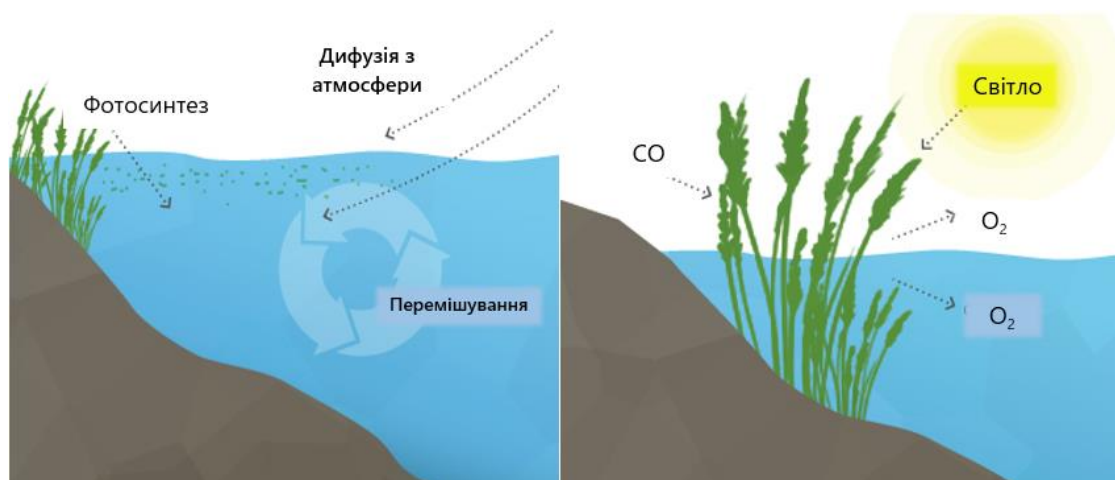


Рисунок 2.3 – Киснєве насичення водойми [24]

Вода, що швидко рухається, наприклад у гірському потоці чи великій річці, як правило, містить багато розчиненого кисню, тоді як стояча вода містить менше. Бактерії у воді можуть споживати кисень, коли органічні речовини розкладаються. Таким чином, надлишок органічного матеріалу в озерах і річках може спричинити евтрофічні умови, що є ситуацією дефіциту кисню, яка може спричинити «загибель» водойми. Водним мешканцям може бути важко в стоячій

воді, яка містить багато гнилого органічного матеріалу, особливо влітку (концентрація розчиненого кисню обернено пропорційна температурі води) (рис. 2.4), коли рівні розчиненого кисню знаходяться на сезонному мінімумі. Вода біля поверхні озера - епілімніон - занадто тепла для них, а вода біля дна - гіполімніон - має занадто мало кисню (рис. 2.5). Умови можуть стати особливо серйозними в період спекотної безвітряної погоди, що призведе до втрати багатьох риб. У водоймі, де концентрація розчиненого кисню низька, може відбуватися цвітіння водоростей.

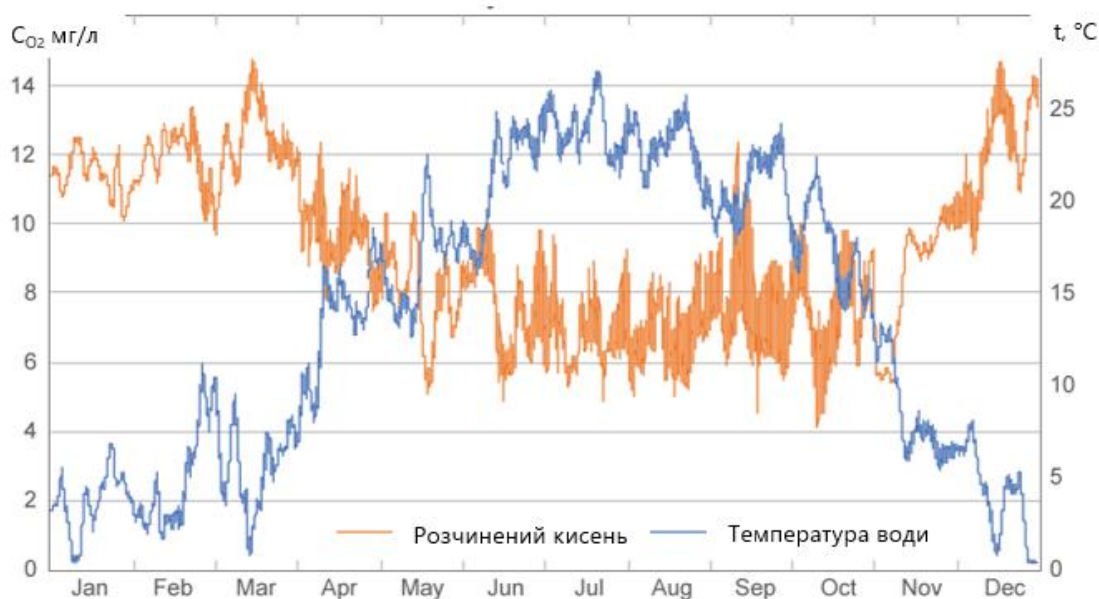


Рисунок 2.4 – Залежність розчиненого кисню від температури [18]

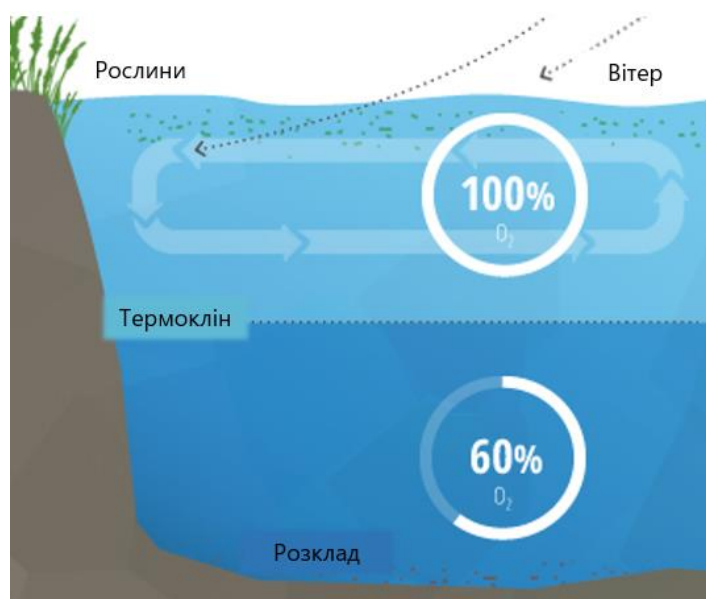


Рисунок 2.5 – Насичення киснем різних шарів води [24]

Як показано на діаграмі, концентрація розчиненого кисню в поверхневих водах залежить від температури і має як сезонний, так і добовий цикл. Холодна вода може утримувати більше розчиненого кисню, ніж тепла. Взимку і ранньою весною, коли температура води низька, концентрація розчиненого кисню висока. Влітку та восени, коли температура води висока, концентрація розчиненого кисню часто нижча. Також через ці процеси виникає температурна стратифікація водойми.

Стратифікація поділяє водойму на шари (рис. 2.6). Це шарування може базуватися на температурі або розчинених речовинах (а саме солі та кисню), причому обидва фактори часто відіграють роль. Розшарування води зазвичай вивчали в озерах, хоча воно також відбувається в річках, якщо водойми досить глибокі.



Рисунок 2.6 - Озерна стратифікація [24]

Верхній шар озера, як зазначалось вище - епілімніон, піддається впливу сонячного випромінювання та контакту з атмосферою, зберігаючи її теплішою.

Глибина епілімніону залежить від температурного обміну, зазвичай визначається прозорістю води та глибиною змішування (зазвичай ініційованого вітром). У цьому верхньому шарі водорості та фітопланктон беруть участь у фотосинтезі. Між контактом з повітрям, потенціалом для аерації та побічними продуктами фотосинтезу, розчинений кисень в епілімніоні залишається майже на 100% насиченим. Точні рівні розчиненого кисню змінюються залежно від температури води, кількості фотосинтезу, що відбувається, і кількості розчиненого кисню, який використовується для дихання аквабіотою.

Нижче епілімніону знаходиться металімніон, перехідний шар, який коливається за товщиною та температурою. Межа між епілімніоном і металімніоном називається термокліном – точкою, в якій температура води починає стабільно падати. Тут можуть виникнути два різні результати. Якщо світло може проникати за термоклін і в цьому шарі відбувається фотосинтез, металімніон може досягти максимуму кисню. Це означає, що рівень розчиненого кисню буде вищим у металімніоні, ніж в епілімніоні. Але в евтрофних або багатих поживними речовинами озерах дихання організмів може зменшити рівень розчиненого кисню, створюючи металімнетичний мінімум кисню.

Наступний шар - гіполімніон. Якщо гіполімніон досить глибокий, щоб ніколи не змішуватися з верхніми шарами, він відомий як монімолімніон. Гіполімніон відокремлений від верхніх шарів хемокліном або галокліном. Ці лінії позначають межу між кисневою та безкисневою водою та градієнтами солоності відповідно. Хоча лабораторні умови дозволяють зробити висновок, що за нижчих температур і високого тиску вода може утримувати більше розчиненого кисню, це не завжди результат. У гіполімніоні бактерії та гриби використовують розчинений кисень для розкладання органічних матеріалів. Цей органічний матеріал походить із мертвих водоростей та інших організмів, які опускаються на дно. Розчинений кисень, який використовується для розкладання, не замінюється – немає контакту з атмосферою, аерації чи фотосинтезу для відновлення рівня кисню в гіполімніоні.

Та усі шари в більшості водойм змішуються принаймні один раз на рік (зазвичай навесні та восени), коли температури шарів озера вирівнюються. Цей оборот перерозподіляє розчинений кисень по всіх шарах, і процес починається знову (рис. 2.7).

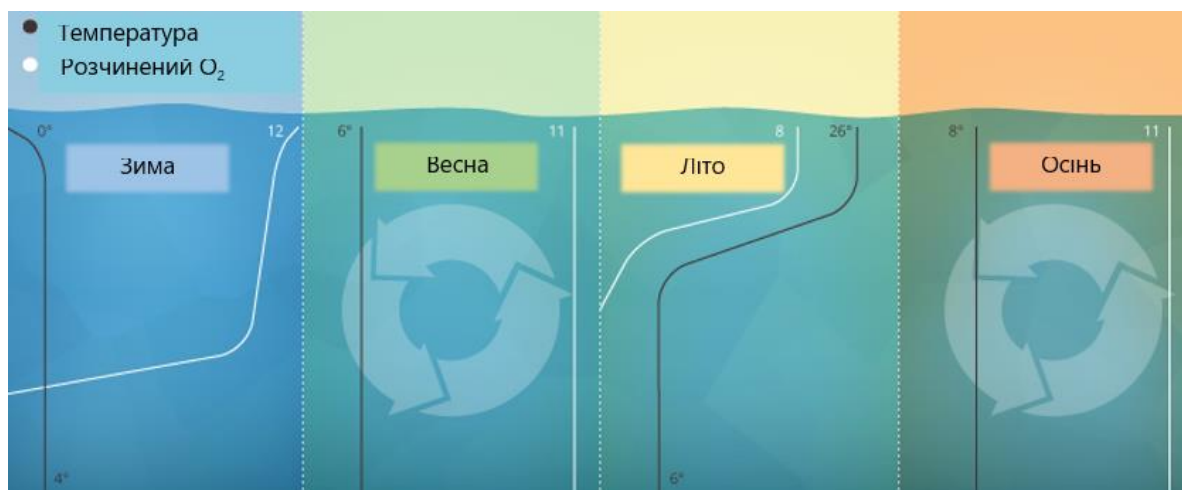


Рисунок 2.7 - Рівень розчиненого кисню в різні пори року [24]

Розчинений кисень необхідний багатьом формам життя, включаючи риб, безхребетних, бактерій і рослин. Ці організми використовують кисень для дихання, подібно до організмів на суші. Риби та ракоподібні отримують кисень для дихання через зябра, тоді як рослинам і фітопланктону потрібен розчинений кисень для дихання, коли немає світла для фотосинтезу. Необхідна кількість розчиненого кисню варіюється від істоти до істоти. Донним тваринам, крабам, устрицям і хробакам потрібна мінімальна кількість кисню (1-6 мг/л), тоді як мілководним риbam потрібні більші рівні (4-15 мг/л) (рис. 2.8).

Мікроби, такі як бактерії та гриби, також потребують розчиненого кисню. Ці організми використовують розчинений кисень для розкладання органічного матеріалу на дні водойми. Мікробне розкладання є важливим фактором переробки поживних речовин. Однак, якщо є надлишок органічного матеріалу, що розкладається (від відмираючих водоростей та інших організмів), у водоймі з рідкісним оборотом або без нього (також відомому як стратифікація), кисень на нижчих рівнях води витрачатиметься швидше.

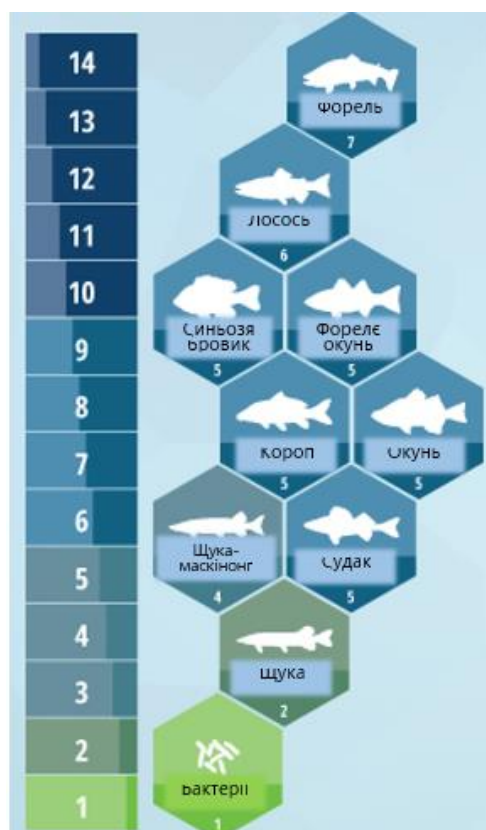


Рисунок 2.8 - Мінімальна потреба прісноводних риб у розчиненому кисні (мг/л) [24]

Розчинений у поверхневих водах кисень використовується всіма формами водного життя; отже, ця складова зазвичай вимірюється для оцінки «здоров'я» озер і струмків. Кисень потрапляє в потік з атмосфери та з підземних вод. Фотосинтез є основним процесом, що впливає на співвідношення розчинений кисень/температура; прозорість води, сила та тривалість сонячного світла, у свою чергу, впливають на швидкість фотосинтезу.

Також можливе виникнення «мертвої зони», зона формується сезонно в частині ріки, коли підземні води виснажуються на розчинений кисень і не можуть підтримувати більшу частину життя. Дефіцит кисню починається пізньою весною, посилюється влітку і закінчується восени.

Утворення збіднених киснем підповерхневих вод пов'язане з багатими поживними речовинами (азотом і фосфором), що можуть потрапляти разом із побутовими стоками, стоками сільгоспугідь, промисловості. Біодоступні поживні речовини у викидах можуть стимулювати цвітіння водоростей, які гинуть і

поїдаються бактеріями, виснажуючи кисень у водах. Вміст кисню в поверхневих водах нормальної солоності влітку зазвичай перевищує 8 міліграмів на літр (8 мг/л); коли концентрація кисню менше 2 мг/л, вода визначається як гіпоксична. Гіпоксія вбиває багато організмів, які не можуть вирватися, тому гіпоксичну зону неофіційно називають «мертвою зоною».

Збільшення частоти та розширення гіпоксичних зон стало економічною та екологічною проблемою для комерційних та рекреаційних користувачів рибальства.

Холодноводні риби, такі як форель і лосось, найбільше страждають від низького рівня розчиненого кисню. Середній рівень розчиненого кисню для дорослих лососевих становить 6,5 мг/л, а мінімальний — 4 мг/л. Ці риби, як правило, намагаються уникати ділянок, де розчинений кисень становить менше 5 мг/л, і почнуть гинути, якщо рівень кисню впаде менше 3 мг/л протягом більше ніж кількох днів. Для ікри лосося та форелі рівень розчиненого кисню нижче 11 мг/л призведе до затримки їх викуплення, а нижче 8 мг/л погіршить їх ріст і знизить рівень виживання. Коли розчинений кисень падає нижче 6 мг/л (що вважається нормальним для більшості інших риб), переважна більшість ікринок форелі та лосося гине.

Судак також віддає перевагу рівням понад 5 мг/л, хоча вони можуть вижити при кисні 2 мг/л протягом короткого часу.

Короп витриваліший, він легко переносить рівні нижче 2 мг/л і може виживати при рівнях нижче 1 мг/л.

Серед прісноводних риб, найбільш стійких до рівнів розчиненого кисню, є товстолобик і північна щука. Північна щука може виживати за низьких концентрацій розчиненого кисню до 0,1 мг/л протягом кількох днів і за 1,5 мг/л протягом нескінченної кількості часу.

Що стосується придонних мікробів, то зміни розчиненого кисню їх не дуже турбують. Якщо весь кисень на рівні води буде використано, бактерії почнуть використовувати нітрати для розкладання органічних речовин, процес, відомий як денітрифікація. Якщо весь азот буде витрачено, вони почнуть відновлювати

сульфат. Якщо органічна речовина накопичується швидше, ніж розкладається, осад на дні озера просто збагачується органічним матеріалом.

Отже, якщо концентрація розчиненого кисню падає нижче певного рівня, рівень смертності риби зростатиме. Коли водойма є надпродуктивною, кисень у воді може витрачатися швидше, ніж він може бути відновлений. Це відбувається, коли водойма перенасичена організмами або якщо відбувається велике відмирання водоростей.

Загибель риби частіше трапляється в евтрофних озерах: озерах з високою концентрацією поживних речовин (зокрема фосфору та азоту). Високий рівень поживних речовин підживлює цвітіння водоростей, що спочатку може підвищити рівень розчиненого кисню. Але більше водоростей означає більше дихання рослин, залучення розчиненого кисню, і коли водорості гинуть, розкладання бактерій різко посилюється, витрачаючи більшу частину або весь доступний розчинений кисень. Це створює безкисневе середовище, або середовище з виснаженням кисню, де риба та інші організми не можуть вижити. Такі рівні поживних речовин можуть виникати природним шляхом, але частіше вони спричинені забрудненням через стікання добрив або погано очищені стічні води.

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЦВІТІННЯ ВОДИ

Зробивши аналіз впливу температури на бурхливе зростання водоростей, що призводить зрештою до «цвітіння» водойми було поставлено мету підтвердити лабораторним експериментом.

Для дослідів було взято воду з природної водойми м. Покровська, температура якої становила 12°C, концентрація кисню дорівнювала 8 мг/л, концентрація водоростей становила $2,3 \cdot 10^6$ од/л.

Вплив температури води на збільшення концентрації водоросте проводили при 15°C (низький розвиток водоростей, добре розчиняється кисень), 20°C (прикордонне значення, коли є ризик розвитку водоростей, та кисень ще розчиняється) та 30°C (бурхливий розвиток водоростей, погане розчинення кисню). На кожну температуру для більш точної статистики використовували 3 колби води 0,5 л, при розрахунках брали середнє арифметичне по 3х колбах.

Регулювання температури було забезпечено лабораторним термостатом, вимір концентрації водоростей було визначено за допомогою мікроскопу XSP-128B LED з приставкою Levenhuk M1000 PLUS та камери Горяєва, кисень заміряли за допомогою хімічних реактивів Rikka тест.

Перші 3 колби, об'ємом 0,5 літрів тримали при температурі 15°C упродовж місяця. Фіксування змін робили на 1й день, на 1 тиждень, 2й тиждень і 3й тиждень експерименту (рис. 3.1).

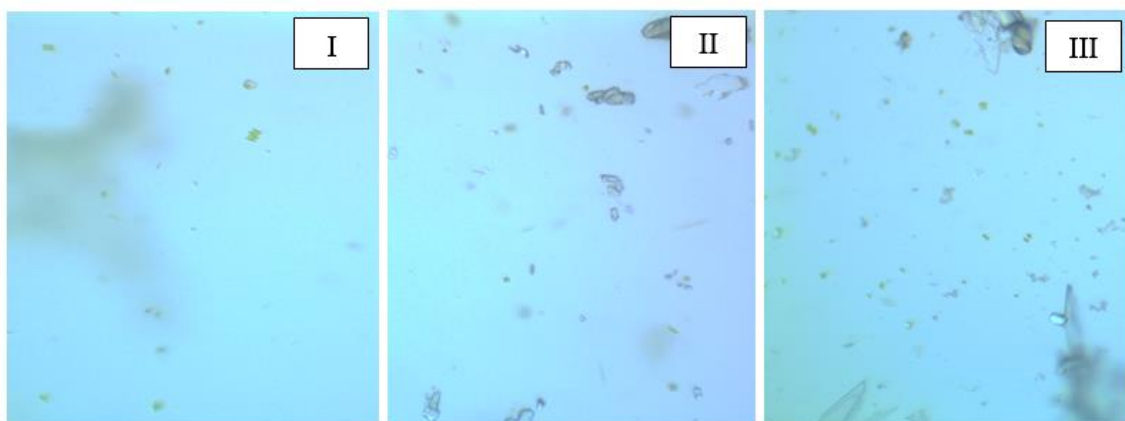


Рисунок 3.1 – Динаміка концентрації водоростей при 15°C

Результати показують, що при температурі 15°C спостерігається невеличкий стрибок збільшення концентрації водоростей на 1й тиждень експерименту, припускаємо це сталося через те, що вихідна вода мала нижчу температуру. Далі концентрація водоростей суттєво не змінювалась. Кисень у воді на 2й тиждень експерименту становив 6 мг/л, наприкінці експерименту 4 мг/л.

Другі 3 колби, об'ємом 0,5 літрів тримали при температурі 20°C упродовж місяця. Фіксування змін робили на 1й день, на 1 тиждень, 2й тиждень і 3й тиждень експерименту (рис. 3.2).

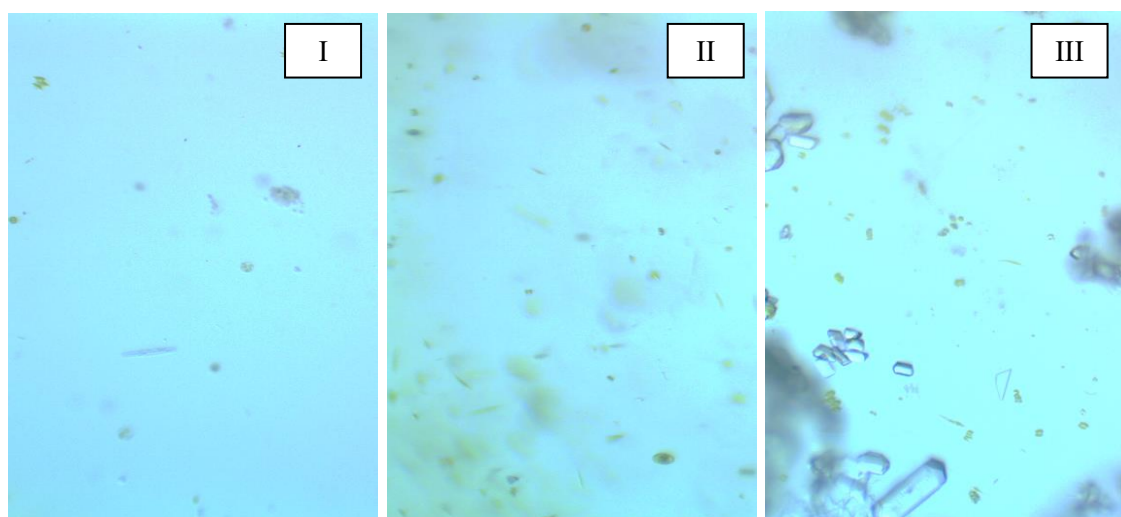


Рисунок 3.2 – Динаміка концентрації водоростей при 20°C

Результати показують, що при температурі 20°C спостерігається стрімкий стрибок збільшення концентрації водоростей на 1й тиждень експерименту, далі повільно збільшувало свою чисельність, на кінець експерименту сповільнився ріст і зменшилась концентрація. Кисень у воді на 1й тиждень експерименту становив 6 мг/л, на другий 4 мг/л, наприкінці експерименту 0 мг/л.

Треті 3 колби, об'ємом 0,5 літрів тримали при температурі 30°C упродовж місяця. Фіксування змін робили на 1й день, на 1 тиждень, 2й тиждень і 3й тиждень експерименту (рис. 3.3).

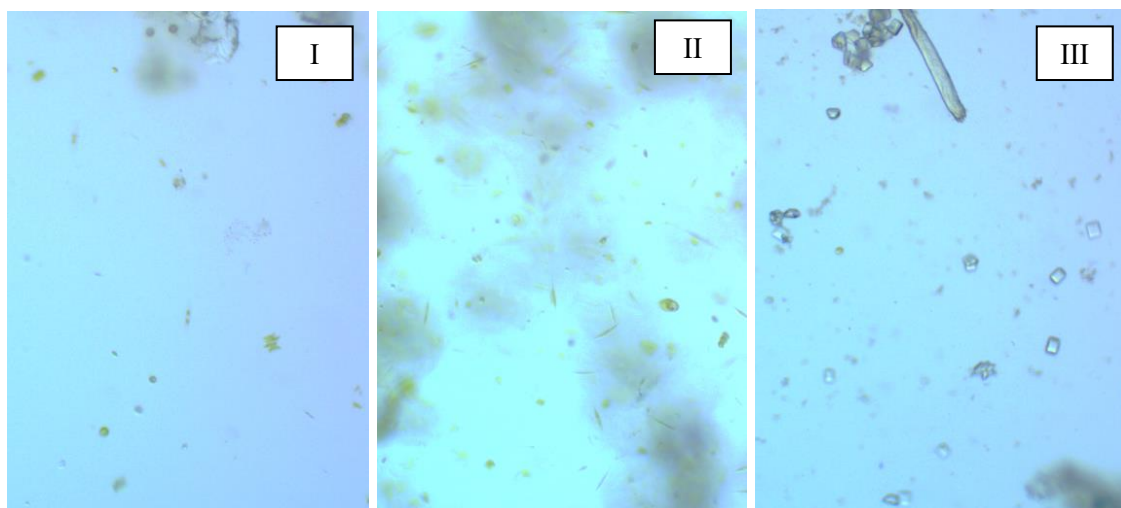


Рисунок 3.3 – Динаміка концентрації водоростей при 30°C

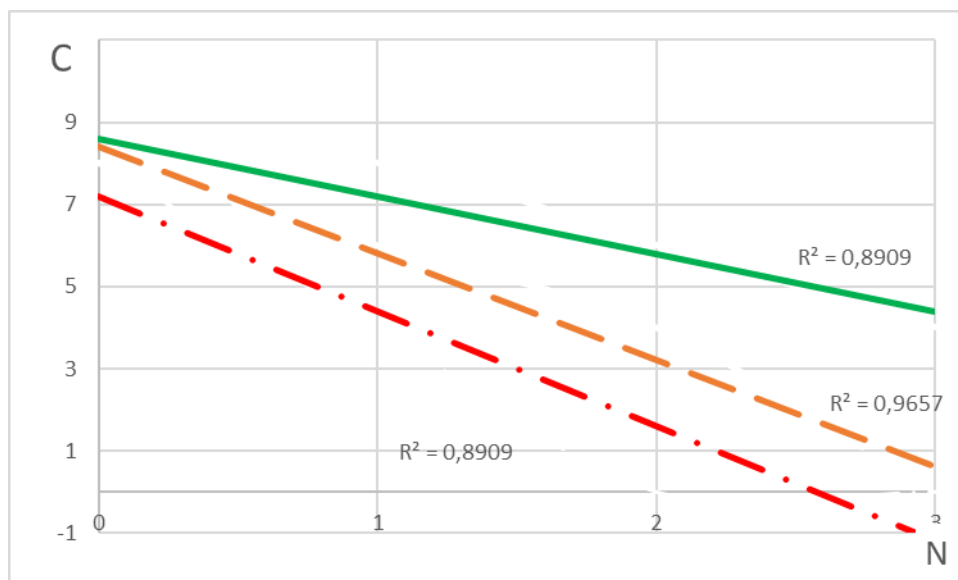
Результати показують, що при температурі 30°C спостерігається бурхливе збільшення концентрації водоростей на 3й день експерименту, зріст концентрації продовжувався до кінця другого тижня, на 3й тиждень були ознаки відмирання водоростей, припускаємо, що це сталося через брак поживних речовин. Кисень у воді на 1й тиждень експерименту становив 4 мг/л, на другий 0 мг/л, наприкінці експерименту 0 мг/л.

Динаміка кількості водоростей на 1 літр відображена у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Вплив температури води на динаміку росту водоростей

t зразків води, °C	Фон, од/л·10 ⁶	Тиждень спостережень		
		1й	2й	3й
15	2,3	2,4	2,42	2,5
20		2,5	2,64	2,1
30		3,1	2,4	0,8

Динаміка змін концентрації кисню у досліджуваних зразках при температурах 15°C, 20°C та 30°C відображено на графіку 3.4.



C – концентрація O_2 , N – тижні експерименту, суцільна - $15^{\circ}C$,
пунктир - $20^{\circ}C$, штрих пунктир - $30^{\circ}C$

Рисунок 3.4 – Зміна концентрації кисню у досліджуваних зразках

Отже експериментально підтверджена залежність концентрація водоростей від температури водойми, згідно результатів чим вище температура водойми тим вища небезпека «цвітіння», а отже забруднення і отруєння води токсинами ціанобактерій та інших представників водоростей. Вже при $20^{\circ}C$ спостерігаються суттєві зміни у водному режимі водойми – збільшення концентрації водоростей і зменшення концентрації розчиненого кисню, якого на 3й тиждень експерименту не спостерігалось в аналізі води. При $30^{\circ}C$ спостерігалось дуже стрімке зростання водоростей, наприкінці експерименту також не було зафіксовано кисню, але і водорості суттєво зменшили свою популяцію через нестачу поживних елементів.

Таким чином необхідно забезпечувати водойму аерацією з одночасним перемішуванням водних шарів.

4 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ОКСИГЕНАЦІЇ ВОДОЙМ

Виходячи з теоретичного аналізу і проведених лабораторних експериментів для підтримання комфортної температури для аквабіоти водойм і запобігання надмірного зростання водоростей, що може призвести до «цвітіння» водойми необхідно зберігати комфортну температуру. Тим самим кисень, що буде потрапляти буде краще розчинятись і накопичуватись у воді, задовольняючи потреби в першу чергу риби.

У ставковому рибництві вміст кисню в атмосфері використовується для збагачення ставкової води киснем. В основному існує два методи збагачення киснем. У першому випадку енергія передається навколишньому повітрю за допомогою якогось повітряного компресора, і повітря проникає у воду, де передає їй частину свого кисню. У другому випадку енергія передається безпосередньо у воду ставка чи іншого джерела води, і вода з більшим вмістом енергії зможе поглинати повітря з атмосфери та розчиняти частину кисню.

Водяний насос є основним пристроєм для гідравлічного типу аерації, за допомогою якого можна збільшити енергетичний вміст води. Повітрозабірний пристрій може бути каскадним, спринклерним, ежекторним або повітрозабірною головкою. Зазвичай вони підключаються до насоса через трубопровід. У групі аераційних пристроїв гідравлічного типу поверхневі аератори показані окремою групою через їх особливу конструкцію. Поверхнева аерація може бути забезпечена простим відкритим робочим колесом або відцентровим насосом без корпусу, а його конструкція розроблена спеціально для аерації ставка. Основним вузлом аераційних пристроїв дифузійного типу є повітряний компресор, який може бути кореневим вентилятором, вентилятором, компресором або мембранним насосом. Повітря проникає у воду через пористий матеріал, такий як перфорована труба, розміщена в ставку.

1. Гідравлічні аератори для рибних ставків (рис. 4.1). У разі аерації спринклерами струмінь води виходить із сопла з великою швидкістю і падає у воду краплями, таким чином контактуючи з повітрям на великій поверхні та

розчиняючи з нього кисень. Коли краплі води потрапляють на поверхню рибного ставка, виникає турбулентність, що збільшує дифузію повітря у воду. Струмінь води можна спрямувати на поверхню води, виштовхуючи повітряні бульбашки у воду.



Рисунок 4.1 – Аерація водойми спринклерною системою [25]

При аерації за допомогою ежектора вода пропускається через дифузор типу Вентурі, де її тиск падає нижче атмосферного, таким чином повітря може проникати у воду.

Для аерації також можна використовувати спеціально розроблені повітрязабірні головки. Зазвичай вони включають пропелер всередині труби, через яку проходить вода. Пропелер приводиться в рух течією води, і на поверхні лопаті тиск знижується і виникає ефект всмоктування повітря.

Також для аерації можна використовувати каскади, в яких вода розбивається на дрібні краплі, збільшуючи площу поверхні.

Аератори гідравлічного типу можна застосовувати, коли вода перекачується через трубопровід, але вони особливо корисні, коли доступний природний напір.

Поверхневі аератори розміщуються безпосередньо в рибницькому ставку і завдяки обертанню лопатевого пристрою з вертикальною або горизонтальною віссю вода викидається в повітря. Ці аератори створюють вертикальний або горизонтальний потік води в ставку для риб, що сприятливо впливає на баланс кисню.

2. Аератори дифузійного типу для рибних ставків (рис. 4.2). Під час дифузії повітря подається різними типами компресорів або повітродувок у воду, де воно розсіюється через різноманітні дифузори. Коли повітря дифундує через перфоровану трубу, утворюються великі бульбашки діаметром до 10 мм, а коли дифузор є пористим матеріалом, утворюються дрібні бульбашки діаметром 2-5 мм. Коли бульбашки з'являються і піднімаються до поверхні води, частина кисню, що міститься в них, розчиняється у воді, а також генерується вторинний рух води вгору, створюючи ефект змішування.

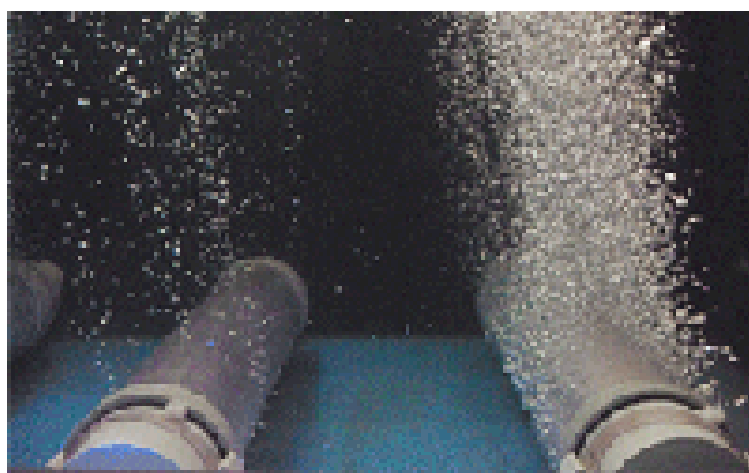


Рисунок 4.2 –Дифузійний тип аератору [25]

Один з них – це барботажна оксигенація, коли газоподібний кисень контактує з водою, розбиваючись на бульбашки. Швидкість розведення кисню залежить головним чином від глибини шару води, довжини руху бульбашок у водоймі та швидкості подачі кисню. Більш високої ефективності можна досягти шляхом зменшення розміру бульбашки, таким чином збільшується час контакту та поверхня контакту. Але зменшення розміру бульбашки потребує значної кількості додаткової енергії, і також може статися коагуляція бульбашок. Ефективність барботування кисню можна підвищити за рахунок протитоку кисню та води. Нерозчинений кисень можна зібрати та повернути назад до системи подачі кисню, або можна побудувати замкнуту систему, в якій кисень і вода постійно змішуються.

3. Нагнітання кисню по трубопроводу. Коли кисень вводять у воду, що тече в трубі в даній точці, ефективність розчинення кисню залежить від часу перебування кисню в трубопроводі та від тиску в трубі. Кисень можна подавати в трубопровід через трубку Вентурі.

4. U-подібна трубка для оксигенації. Оксигенація в U-подібній, у якій бульбашки кисню переносяться течією води. Таким чином, час контакту та ефективність розведення кисню залежить від різниці рівнів води на вході та витоку та від глибини "U" трубки. Цей процес видається дуже ефективним у практиці вирощування риби через його високу ефективність, низькі потреби в енергії та простоту [25].

5. Технологія насичення киснем. Технологія насичення киснем є новою та цікавою галузевою інновацією. На відміну від інших рішень, цей інструмент спрямований на аноксію озера та проблеми з якістю води в джерелі - осаді. Це гарне рішення для управління якістю води, що впорскує кисень безпосередньо у воду, що дозволяє кисню залишатися в розчині та розсіюватися, покриваючи озерні відкладення високим рівнем кисню. Крім того, ця система може вводити кисень на певну глибину, не впливаючи на термічну стратифікацію або шари холоднішої води. Це дозволяє розміщувати кисень і залишатися там, де він найбільше потрібний, на межі осад-вода.

Ця технологія додає в п'ять-десять разів більше кисню порівняно з традиційними системами аерації з порівнянними або часто в рази нижчими витратами на електроенергію. Допомогає зменшити залежність від хімікатів, з можливістю не використовувати гербіциди протягом усього сезону. Ця інновація також має можливість зменшити або навіть усунути накопичення органічного бруду на дні озер і ставків.

6. Заглиблена аерація. Заглиблені аератори, з іншого боку, забезпечують аерацію через циркуляцію. Стиснене повітря подається через дифузори, розміщені на дні озера чи ставка. Коли бульбашки піднімаються, вони циркулюють у воді та виносять придонну воду з низьким рівнем кисню на поверхню, де кисень може

поглинатися. Така схема циркуляції змішує воду та забезпечує кисень на менших глибинах.

7. Плавучі фонтани. Плавучі фонтани розбризкують воду з приємними візерунками в повітря. Коли вода падає на поверхню, вона створює турбулентність, яка сприяє передачі кисню в товщу води, одночасно дозволяючи зануреним газам виходити. Фонтани забезпечують багатогранні переваги і навіть можуть бути прикрашені освітленням для додаткової краси. Що стосується насиченості киснем, то фонтани є найбільш корисними для мілководних водойм.

8. Технологія нанобульбашок. Системи Nanobubble Technology викачують воду з озера чи ставка, впорскують її за допомогою нанобульбашок, а потім випускають воду у водойму. Нанобульбашки мікроскопічні - настільки малі, що не піднімаються на поверхню; замість цього вони дрейфують і зрештою розчиняються, вивільняючи кисень через кілька днів або тижнів. Відновлення водойми нанобульбашками найкраще підходить для невеликих мілководних водойм (приблизно 3 гектари або менше). Кожен із цих інструментів функціонує по-різному, але всі вони призначені для збереження добре збалансованої водойми.

Таким чином, розчинений кисень має вирішальне значення для комфортного існування аквабіоти, підтримуючи кисень вище критичного значення 4 мг/л. Кисень створює умови якості води, які допомагають нейтралізувати фосфор і азот - звичайні поживні речовини, які в надлишку можуть забруднювати наші цінні водні ресурси. Озера та ставки з більш збалансованою якістю води менш сприятливі для водоростей і бур'янів. У свою чергу, це запобігає вивільненню потенційних токсинів водоростей, обмежує розвиток донного мулу та неприємних запахів і підтримує розмноження корисних мікробів, зоопланктону, місцевої риби та інших здорових водних організмів [26].

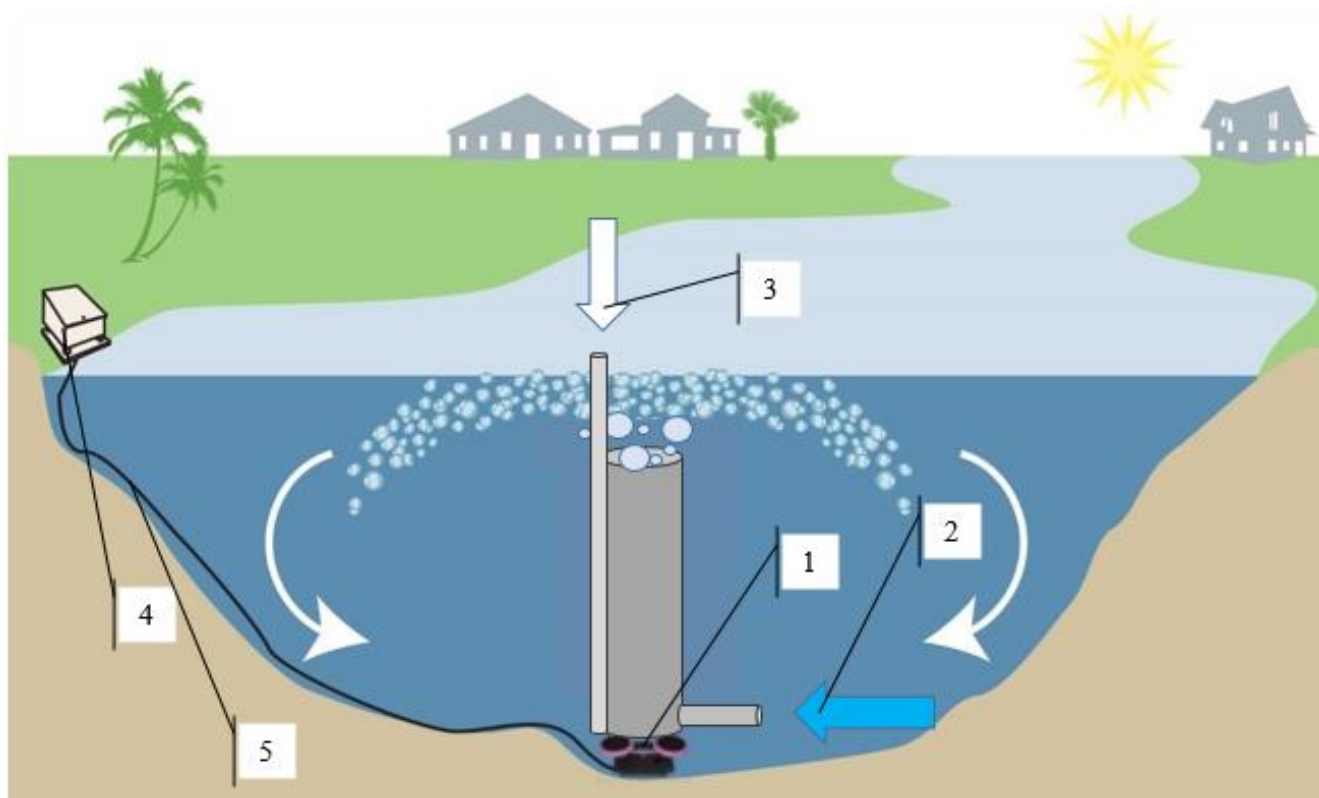
4.1 Удосконалення засобу оксигенації водойми

Оксигенація води важливий інструмент у підтриманні водойми або відновленні після бурхливого розвитку водоростей у літній період. Аерація є

ефективним та бюджетним способом насичення киснем водойми. Та залишається проблема забезпечення комфортної температури водойми у діапазоні 20°C.

Серед усіх методів аерацій найбільший інтерес представляє заглиблена аерація. При цьому аератор поміщають на дно водойми і бульбашки з повітрям проходять через усю товщу водойми. Тим самим може бути забезпечено перемішування водних шарів – виникнення турбулентності. Це можна здійснити шляхом модернізації заглибленого аератора.

Заглиблений аератор поміщають на дно аератору до якого підводиться повітряпровод а також труба, що зачерпує воду біля дна з більш холодною водою (рис.4.3). Тим самим утворюється водно-повітряна суміш, що випускається у поверхні водойми з більш теплою водою. Таким чином водойма під дією турбулентного перемішування охолоджується і насичується киснем.



1 – заглиблений аератор; 2 – потік холодної води із дна водойми;
3 – повітряпровод; 4 – компресор; 5 – кабель електроживлення

Рисунок 4.3 – Термо-аератор

Отже за допомогою модернізованого аератору забезпечується якісна оксигенація водойми з одночасним її охолодженням. Такий термо-аератор можна застосовувати у рибному господарстві де температура і кисень є головними факторами розвитку промислової риби.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі з впливу глобального потепління на ціанобактеріальне цвітіння було проаналізовані проблеми глобального потепління та його вплив на сучасний стан морських та прісноводних водойм, проведено експериментальне підтвердження впливу температури на цвітіння води, запропоновано удосконалення засобу шляхом турбулентного перемішування водних мас за допомогою заглибленого аератора.

Згідно з поставленою метою в роботі розроблено спосіб для зниження шкідливого впливу ціанобактеріального цвітіння водойми і її терморегуляції під впливом глобального потепління шляхом удосконалення систем аерації.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Головною причиною глобального потепління стала антропогенна діяльність, що призвела до змін циркуляції Світового океану, зміни режиму опадів (до посухи або надмірному зволоженню), зміни умов існування біоти, потепління температури водойм суші.

2. Сучасний стан морських та прісноводних водойм суттєво погіршився за 2019-2021 рр., спостерігається потепління середньорічної температури прісноводних водойм на 5,3...7,8 °С, що зменшує здатність до насичення кисню на 2...12%. Почастішали випадки евтрофікації водойм, «цвітіння» води, що в свою чергу призвело до зменшення кисню у воді і загибелі аквабіоти.

3. Експериментально підтверджена залежність концентрація водоростей від температури водойми. Вже при 20°C спостерігаються суттєві зміни у водному режимі водойми – збільшення концентрації водоростей і зменшення концентрації розчиненого кисню.

4. Запропоновано удосконалення заглибленого аератору, де до аератору підводиться холодний потік води і перемішується з повітрям. Утворена водно-повітряна суміш викидається у верхні шари водойми із більш теплою водою. Таким чином забезпечується якісна оксигенація водойми з одночасним її охолодженням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mann, M. E.. "global warming." Encyclopedia Britannica, May 5, 2023.
<https://www.britannica.com/science/global-warming>
2. V. Ramaswamy et.al., "Anthropogenic and Natural Influences in the Evolution of Lower Stratospheric Cooling," Science 311 (24 February 2006), 1138-1141
3. B.D. Santer et.al., "Contributions of Anthropogenic and Natural Forcing to Recent Tropopause Height Changes," Science vol. 301 (25 July 2003), 479-483.
4. T. Westerhold et. al., "An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years," Science vol. 369 (11 Sept. 2020), 1383-1387.
5. IPCC Sixth Assessment Report, WG1, Chapter 2 Vostok ice core data; NOAA Mauna Loa CO2 record Gaffney, O.; Steffen, W. (2017). "The Anthropocene Equation," The Anthropocene Review (Volume 4, Issue 1, April 2017), 53-61.
6. Velicogna, I., Mohajerani, Y., A, G., Landerer, F., Mouginot, J., Noel, B., Rignot, E., Sutterly, T., van den Broeke, M., van Wessem, M., Wiese, D. (2020). Continuity of ice sheet mass loss in Greenland and Antarctica from the GRACE and GRACE Follow-On missions. Geophysical Research Letters (Volume 47, Issue 8, 28 April 2020).
7. Robinson, D. A., D. K. Hall, and T. L. Mote. 2014. MEaSUREs Northern Hemisphere Terrestrial Snow Cover Extent Daily 25km EASE-Grid 2.0, Version 1. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <https://doi.org/10.5067/MEASURES/CRYOSPHERE/nsidc-0530.001>. [Accessed 9/21/18].
8. R. S. Nerem, B. D. Beckley, J. T. Fasullo, B. D. Hamlington, D. Masters and G. T. Mitchum. "Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era." PNAS, 2018 DOI: 10.1073/pnas.1717312115

9. Pan-Arctic Ice Ocean Modeling and Assimilation System (PIOMAS, Zhang and Rothrock, 2003)
10. USGCRP, 2017: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 470 pp, doi: 10.7930/J0J964J6
11. C. L. Sabine et.al., "The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂," *Science* vol. 305 (16 July 2004), 367-371
12. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Technical Summary, Chapter TS.5, Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities, Section 5.2.2.3.
13. Naomi Oreskes, "The Scientific Consensus on Climate Change," *Science* 3 December 2004: Vol. 306 no. 5702 p. 1686 DOI: 10.1126/science.1103618
14. United States Global Change Research Program, "Global Climate Change Impacts in the United States," Cambridge University Press, 2009
15. Mike Lockwood, "Solar Change and Climate: an update in the light of the current exceptional solar minimum," *Proceedings of the Royal Society A*, 2 December 2009, doi 10.1098/rspa.2009.0519;
16. Judith Lean, "Cycles and trends in solar irradiance and climate," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 1, January/February 2010, 111-122.
17. В Україні аномально обмілили річки та водосховища. URL: <https://news.agro-center.com.ua/plant-growing/v-ukraini-anomalno-obmilili-richki-ta-vodoshovishha.html>
18. Without water, Ukraine's economy will wilt. URL: <https://www.obserwatorfinansowy.pl/in-english/without-water-ukraines-economy-will-wilt/>
19. Bilous, Olena, Sergey Afanasyev, Olena Lietytska, Oksana Manturova, Oleksandr Polishchuk, Inna Nezbyrka, Maryna Pohorielova, and Sophia Barinova. 2021. "Preliminary Assessment of Ecological Status of the Siversky Donets River Basin (Ukraine) Based on Phytoplankton Parameters and Its Verification by Other Biological Data" *Water* 13, no. 23: 3368. <https://doi.org/10.3390/w13233368>

20. Rajesh, M., Rehana, S. Impact of climate change on river water temperature and dissolved oxygen: Indian riverine thermal regimes. *Sci Rep* 12, 9222 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12996-7>
21. Gobler, C. J. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1619575114> (2017).
22. Michalak, A. M. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 110, 6448–6452 (2013).
23. Cressey, D. Climate change is making algal blooms worse. *Nature* (2017). <https://doi.org/10.1038/nature.2017.21884>
24. Dissolved Oxygen. URL: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>
25. Oxygen budget of fish ponds. URL: <https://www.fao.org/3/x5744e/x5744e0m.htm>
26. Four ways to introduce dissolved oxygen into your waterbody. URL: <https://www.solitudelakemanagement.com/blog/four-ways-to-introduce-dissolved-oxygen-into-your-waterbody/>